การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยใช้วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

นิธิภัทร กมลสุข

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ได้พิจารณาดุษฎีนิพนธ์ของ นิธิภัทร กมลสุข ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแช้ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.พัชรี วงษ์เกษม)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุศยา ปลั่งพงษ์พันธ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแช้ม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

.....กรรมการ
(ดร.พัชรี วงษ์เกษม)

.....กรรมการ
(Dr. Poliny Ung)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี) และวิทยาการปัญญา
วันที่ 12 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

ประกาศคุณูปการ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากคณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแช้ม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง และ ดร.พัชรี วงษ์เกษม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกภายในประเทศ และขอขอบคุณครอบครัว เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทย ในการรวบรวมฐานข้อมูลที่นำมาใช้สำหรับการวิจัยนี้

คุณค่าและประโยชน์ของดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี คณาจารย์ที่ประสาทวิชา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จจนตราบเท่าทุกวันนี้

นิธิภัทร กมลสุข

54810266: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;
ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)
คำสำคัญ: วิธีตัวประมาณค่า S/ การถดถอยที่แกร่ง/ เงินรายได้ของแรงงานไทยในต่างประเทศ

นิธิภัทร กมลสุข: การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยใช้วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ (FORECASTING INCOME OF OVERSEAS THAI WORKERS BY APPLYING REGRESSION COEFFICIENT ESTIMATION USING ADJUSTED S-ESTIMATOR) คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์: เสรี ชัดแช้ม, ค.ด., พูลพงศ์ สุขสว่าง, ค.ด., พัชรี วงษ์เกษม, ปร.ด. 308 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้ 540 สถานการณ์ ของ 4 เงื่อนไข คือ ก) ขนาดตัวอย่าง ข) ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ ค) จำนวนพารามิเตอร์ และ ง) การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ที่ใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และ 3) พยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จากฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ กำหนดเกณฑ์การพยากรณ์จากร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) มีค่าไม่เกินร้อยละ 10

ผลการวิจัยปรากฏว่า

1. ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ คือ $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ มีประสิทธิภาพดีกว่าค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า S โดยผลการพิสูจน์พบว่า ค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกต ที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุด (Differential of Selected Observation by Minimum Spanning Tree: DMST) ที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติคล้ายกับค่ามัธยฐานส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Median Absolute Deviation: MAD) คือ สมบัติ Affine Equivariance และมีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50%

2. ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จำนวน 397 สถานการณ์จาก 540 สถานการณ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสถานการณ์ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5

3. สมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ให้ค่า *MAPE* เท่ากับร้อยละ 12.042 ซึ่งเกินกว่าร้อยละ 10 แต่มีค่าน้อยกว่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.187

54810266: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCES;
Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCES)
KEYWORDS: S-ESTIMATOR/ ROBUST REGRESSION/ INCOME OF OVERSEAS THAI WORKERS

NITHIPAT KAMOLSUK: FORECASTING INCOME OF OVERSEAS THAI WORKERS BY APPLYING REGRESSION COEFFICIENT ESTIMATION USING ADJUSTED S-ESTIMATOR. ADVISORY COMMITTEE: SEREE CHADCHAM, Ph.D., POONPONG SUKSAWANG, Ph.D., PATCHAREE WONGKASEM, Ph.D. 308 PP. 2018.

This research aimed to 1) develop the regression coefficient estimation by applying adjusted S-estimator 2) compare the efficiency of regression estimations using adjusted S-estimator with S-estimator under 540 scenarios of 4 conditions: a) sample sizes, b) percentage of outliers, c) number of parameters, and d) errors distributions. The criterion for efficiency comparison was Root Mean Square Error (RMSE), and 3) forecast income of Thai workers overseas between January 2004 to December 2016 as stated in the database of the Department of Employment of Thailand, Thai Social Security Office and the Bank of Thailand, by applying adjusted S-estimator and leveling *MAPE* not more than 10 percent.

The research results demonstrated that:

1. The estimated regression coefficient obtained from adjusted S-estimator which is $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ proved to be more efficient than the estimated regression coefficient of S-estimator. The verification found that the developed Differential of Selected Observation by Minimum Spanning Tree (DMST) resembled the properties of Median Absolute Deviation (MAD) which were Affine Equivariance and have a breakdown point of 50 percent.

2. The method of regression coefficient estimation through adjusted S-estimator provided the value of *RMSE* less than S-estimator from 397 situations out of 540 situations. In most situations the sampling sizes are equal to 100 with 25 percent outlier, and 5 parameters.

3. The forecasting equation of the income of Thai labors working overseas from the regression coefficient estimation using adjusted S-estimator that leveled the percentage of *MAPE* at 12.042 which exceeded 10 percent. The percentage, however, was less than *MAPE* when set the percentage of S-estimator at 20.187.

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
สารบัญ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญภาพ.....ญ
บทที่
1 บทนำ.....1
ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย.....1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....4
สมมุติฐานการวิจัย.....6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....7
ขอบเขตของการวิจัย.....7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....12
ตอนที่ 1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....12
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ค่านอกเกณฑ์.....27
ตอนที่ 3 วิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยที่สุดภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม.....39
ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....44
ตอนที่ 5 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....56
ตอนที่ 6 กระบวนการจำลองแบบปัญหา.....64
ตอนที่ 7 แรงงานไทยในต่างประเทศ รายได้นำเข้าประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....72
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....88
ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า *S* ปรับแก้.....88
ระยะที่ 2 การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S.....112
ระยะที่ 3 การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้.....124
4 ผลการวิจัย.....134

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย
ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ 136

ตอนที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ
ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้
กับวิธีตัวประมาณค่า S 142

ตอนที่ 3 ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย
ในต่างประเทศด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ 170

5 สรุปและอภิปรายผล 185

สรุปผลการวิจัย 185

อภิปรายผล 188

ข้อเสนอแนะ 190

บรรณานุกรม 192

ภาคผนวก 199

ภาคผนวก ก จำนวนเงินนำเข้าประเทศและจำนวนแรงงานไทยประเทศ
ที่นิยมไปทำงานจำแนกเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547
ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 200

ภาคผนวก ข ผลการคำนวณค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อน
แจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล.....208

ภาคผนวก ค ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้
กับวิธีตัวประมาณค่า S จากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ
แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล.....212

ภาคผนวก ง ค่า *MAPE* และ *RMSE* จากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ
แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล 216

ภาคผนวก จ ค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....262

ภาคผนวก ฉ ค่านอกเกณฑ์ ค่าสถิติสำหรับตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์.....266

ภาคผนวก ช ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ.....277

ภาคผนวก ซ คำสั่งของโปรแกรมที่ใช้งาน.....295

ประวัติย่อของผู้วิจัย 305

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 ค่าสังเกตจากตัวแปรทั้งหมดของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 13
2-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ..... 20
2-3 ผลการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนมาตรฐานของ *MAD* S_n และ Q_n 51
2-4 ค่าคงที่ c และ K จากค่าร้อยละของจุดแบ่งข้อมูลและค่าประสิทธิภาพ
ของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย..... 61
2-5 จำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2559 72
3-1 การคำนวณค่า *DMST* และ *MAD* จากข้อมูล Heart Catheterization 92
4-1 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ 150
4-2 การสรุปจำนวนสถานการณ์วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ.....151
4-3 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.....157
4-4 การสรุปจำนวนสถานการณ์วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.....158
4-5 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล.....165
4-6 การสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล.....166
4-7 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S ทุกการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน.....167
4-8 การสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่า
วิธีตัวประมาณค่า S ทุกการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน.....169
4-9 ลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของเงินรายได้นำเข้าประเทศ และจำนวนแรงงานไทย
ประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559.....171
4-10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศ
ของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในทุกประเทศ.....175
4-11 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติทดสอบ t ของข้อมูล.....176
4-12 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ 177
4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของเงินรายได้นำเข้าประเทศ
ของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยทุกประเทศ.....178
4-14 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด
ที่ปรับค่าและค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson 179

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-15	การทดสอบการแจกแจงของส่วนเหลือ	179
4-16	ลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย ในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์	182
4-17	ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย ในต่างประเทศปี พ.ศ. 2560	184

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย 6
2-1 แผนภาพการกระจายของตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือในรูปแบบต่าง ๆ 22
2-2 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนเหลือกับเวลา 23
2-3 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปรกติของส่วนเหลือ..... 24
2-4 ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย..... 28
2-5 ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรเกณฑ์ 28
2-6 ค่านอกเกณฑ์ที่เกิดจากค่าของตัวแปรทำนายและตัวแปรเกณฑ์..... 29
2-7 แผนภาพการกระจายและเส้นถดถอย กรณีไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น..... 30
2-8 แผนภาพการกระจายที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรเกณฑ์..... 30
2-9 แผนภาพการกระจายที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย 30
2-10 แผนภาพการกระจายแสดงจุดที่เพิ่มขึ้น..... 31
2-11 ค่าฟังก์ชันเพียงพอของ S_n และ Q_n เปรียบเทียบกับ *MAD* 50
2-12 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง..... 53
2-13 กราฟการแจกแจงปรกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ 68
2-14 กราฟการแจกแจงแกมมาที่มีพารามิเตอร์ $\alpha>0$, $\beta>0$ 69
2-15 กราฟการแจกแจงไวบูลที่มีพารามิเตอร์ $\alpha = 2$, $\beta>0$..... 70
2-16 แนวโน้มมูลค่าเงินนำเข้าประเทศจากแรงงานไทยที่ไปทำงานต่างประเทศตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2559 73
2-17 จำนวนแรงงานที่ไปทำงานต่างประเทศจำแนกตามวิธีการเดินทางในปี พ.ศ. 2557.....74
2-18 จำนวนแรงงานที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศด้วยวิธีการต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557.....74
2-19 ร้อยละ GDP ของเงินนำเข้าจากแรงงานในประเทศกลุ่มอาเซียน.....84
2-20 จำนวนเงินนำเข้ารายเดือนของแรงงานไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557..... 84
2-21 จำนวนเงินนำเข้ารายเดือนของแรงงานไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2558..... 85
3-1 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่า Catheter length 93
3-2 ขั้นตอนของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้.... 110
3-3 ขั้นตอนการวิจัย 111
3-4 ขั้นตอนของการสร้างข้อมูล..... 113
3-5 ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S.....115
3-6 ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้.....119

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-7 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะข้อมูลเบื้องต้น....130

3-8 ขั้นตอนการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ....133

4-1 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 และ 15 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....144

4-2 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และร้อยละของค่านอกเกณฑ์เท่ากับ 20 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....145

4-3 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 4 ถึง 7 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ 145

4-4 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 4 ถึง 7 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 20 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....146

4-5 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....146

4-6 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....147

4-7 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....148

4-8 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ....149

4-9 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.... 152

4-10 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.... 153

4-11 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.... 154

4-12 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา.... 155

4-13 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา 156

4-14 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และจำนวนพารามิเตอร์ 5 ถึง 7 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล....159

4-15 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล....159

4-16 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 และ 10 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล....160

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-17	ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล	161
4-18	ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล	162
4-19	ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล	163
4-20	ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล	164
4-21	แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานไทย และรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย ในประเทศต่าง ๆ	173
4-22	แผนภาพการกระจายระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยกับจำนวน แรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ	174
4-23	กราฟระหว่างส่วนเหลือกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ	178
4-24	กราฟแบบ Q-Q Plot Theoretical ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%	180
4-25	แผนภาพการกระจายของจำนวนแรงงานไทยในไต้หวันและสิงคโปร์ กับระยะทางของคู้ก	180
4-26	ขนาดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ผิดปกติ	181

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ปัญหาแรงงานไทยที่หลายหน่วยงานได้หยิบยกประเด็นมากล่าวถึงกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการขาดแคลนแรงงาน แรงงานจำนวนมากยังขาดทักษะความชำนาญ หรือจากภาวะทางเศรษฐกิจที่ตกต่ำ ทำให้มีคนตกงานจำนวนมาก โดยองค์การแรงงานระหว่างประเทศ (International Labor Organization: ILO) ได้กล่าวถึงปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำทั่วโลกในขณะนี้ว่า ทำให้มีอัตราการว่างงาน (Unemployment Rate) ทั่วโลกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.7 เป็นร้อยละ 5.8 ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งจะคงที่ในระดับร้อยละ 5.8 ในปี พ.ศ. 2561 และเมื่อวัดเป็นจำนวนคนว่างงานทั่วโลกในปี พ.ศ. 2560 นั้น มีแนวโน้มอยู่ที่ 201.1 ล้านคน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 ที่มี 197.7 ล้านคน ส่วนในปี พ.ศ. 2561 ประมาณการเป็น 203.8 ล้านคน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเผชิญภาวะเศรษฐกิจชะลอตัว กอปรกับความไม่แน่นอนทางการเมืองและเศรษฐกิจ ส่งผลให้ขาดการลงทุนเพิ่ม โดยเฉพาะประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่ (หนังสือพิมพ์ประชาไทออนไลน์, 2560)

สำหรับประเทศไทย เมื่อพิจารณาสถิติการว่างงานย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2553 ถึง 2557) ปรากฏว่า ในปี พ.ศ. 2553 มีผู้ว่างงาน 4.0 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 1.0 ในปี พ.ศ. 2554 มีผู้ว่างงาน 2.5 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 0.7 ปี ในปี พ.ศ. 2555 มีผู้ว่างงาน 2.6 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 0.7 ปี พ.ศ. 2556 มีผู้ว่างงาน 2.8 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 0.7 และในปี พ.ศ. 2557 มีผู้ว่างงาน 3.2 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 0.8 จำนวนผู้ว่างงานเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2553 ถึง 2557) ประมาณ 3.0 แสนคน คิดเป็นอัตราการว่างงานร้อยละ 0.8 ต่อปี (กองวิจัยตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน, 2558) และจากสถานการณ์การว่างงานปี พ.ศ. 2559 พบว่า อัตราการว่างงานเป็นร้อยละ 1 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 ที่มีอัตราการว่างงานร้อยละ 0.9 แต่อัตราการว่างงานเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ลดลงจากเดือนตุลาคม ขณะที่อัตราการกลับเข้าสู่การมีงานทำหรืออัตราการจ้างงานในปี พ.ศ. 2559 ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม สูงกว่าปี พ.ศ. 2558 ร้อยละ 4 (หนังสือพิมพ์ไทยรัฐออนไลน์, 2559)

แนวทางหนึ่งที่คาดว่า สามารถแก้ปัญหาการว่างงานได้คือ การเพิ่มโอกาสการทำงานในต่างประเทศให้มากขึ้น ซึ่งที่ผ่านมาประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศหนึ่งที่นิยมส่งแรงงานไปทำงานต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เนื่องจากรายได้ที่ได้รับจากการทำงานในต่างประเทศมักสูงกว่าการทำงานในประเทศ ที่สอดคล้องกับบทสัมภาษณ์พิเศษของ พลตำรวจเอกอดุลย์ แสงสิงแก้ว รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานที่ได้ให้ไว้กับหนังสือพิมพ์ประชาชาติธุรกิจ ภายหลังจากเข้ารับตำแหน่งรัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงาน เมื่อเดือนพฤศจิกายนปี พ.ศ. 2560 เกี่ยวกับการส่งเสริมแรงงานไทยให้ไปทำงานต่างประเทศตอนหนึ่งว่า

ปัจจุบันแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานยังต่างประเทศมีทั้งหมด 4 แสนกว่าราย พวกนี้ส่งเงินกลับมายังประเทศหลายแสนล้านบาทต่อปี ส่วนใหญ่อยู่ในไต้หวัน, ญี่ปุ่น, อิสราเอล เป็นต้น โดยแนวทางการขับเคลื่อนนโยบายคือ ระบบนายหน้าผิดกฎหมายต้องไม่มี ต้องมีการพัฒนาฝีมือแรงงาน และจะต้องรู้กฎหมาย รู้ภาษา และขณะนี้เรามีทูตแรงงานอยู่ทั้งหมด 14 แห่ง ที่จะช่วยดูแลแรงงานขณะเจ็บป่วย ล้มตาย ดังนั้น หากแรงงานกลุ่มนี้ถูกต้องตามกฎหมาย จะยิ่งสร้างรายได้ทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศมหาศาล (หนังสือพิมพ์ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2560)

ทั้งนี้จากรายงานสถิติสถานการณ์ด้านแรงงานของประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปี พ.ศ. 2558 มีมูลค่าเป็น 100,481 ล้านบาท ปี พ.ศ. 2559 มีมูลค่าเพิ่มขึ้นเป็น 114,581 ล้านบาท และประมาณการปี พ.ศ. 2560 มีมูลค่าเป็น 125,688 ล้านบาท (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2560) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.5 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (Gross National Product: GDP) (ศูนย์ข้อมูลข่าวสารอาเซียน กรมประชาสัมพันธ์, 2559) นอกจากนี้เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ยังเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่แสดงถึงคุณภาพฝีมือของแรงงานไทย และเป็นข้อมูลสนับสนุนให้รัฐบาลได้นำมาพิจารณาเพื่อวางแผนพัฒนาคุณภาพ ตลอดจนฝึกทักษะการทำงานให้มีความชำนาญ ก่อนที่จะส่งไปทำงานในต่างประเทศ จึงได้ถูกบรรจุเป็นนโยบายหนึ่งของรัฐบาล แต่ปัจจุบันยังไม่มีการสร้างสมการที่สามารถพยากรณ์จำนวนเงินดังกล่าวจากจำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศต่าง ๆ ตามที่ปรากฏในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทย อันประกอบด้วย ไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งผลของการพยากรณ์สามารถใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกิดการวางแผนเพื่อพัฒนาฝีมือของแรงงานไทยก่อนส่งไปทำงานยังต่างประเทศ ที่จะช่วยลดปัญหาการว่างงานได้อีกทางหนึ่ง

ทั้งนี้การสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศนั้น จะพิจารณาจากลักษณะของค่าสังเกตและรูปแบบของความสัมพันธ์ โดย Bowerman, O’ Connell, and Koehler (2005, p. 279) ได้กล่าวถึงการสร้างสมการพยากรณ์จากอนุกรมเวลา (Time Series) ที่ตัวแปรเกณฑ์หรือตัวแปรตาม ต้องมีความสัมพันธ์กับเวลาหรือเป็นฟังก์ชันของเวลา หรือลักษณะของข้อมูลมีการเคลื่อนไหวที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล (Seasonal) ซึ่งค่าฤดูกาลนี้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีผลต่อค่าสังเกต โดยลักษณะของค่าสังเกตที่มีพารามิเตอร์นี้อยู่ในตัวแบบจะมีการเคลื่อนไหวที่เปลี่ยนแปลงแบบเดียวกันทุกปี ซึ่งนอกจากจะสร้างสมการพยากรณ์จากอนุกรมเวลาแล้ว ยังมีการสร้างสมการพยากรณ์จากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือตัวแปร ที่เป็นการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ด้วยรูปแบบทางสถิติ โดยปัจจัยที่นำมาศึกษาจะต้องมีอย่างน้อยสองปัจจัย ได้แก่ การสร้างสมการพยากรณ์จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบง่ายและแบบพหุคูณ การวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ และการวิเคราะห์หลายตัวแปร (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2549, หน้า 13)

การสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จากจำนวนแรงงานในประเทศต่าง ๆ ที่นี้ จะใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพราะลักษณะ

ของค่าสังเกตและรูปแบบความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นแบบอนุกรมเวลา และเนื่องจากมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกต จึงใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง (Robust Regression) โดยจะประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นจากวิธีตัวประมาณค่า S (S-estimator)

วิธีตัวประมาณค่า S เป็นวิธีการที่แกร่ง (Robust Method) วิธีหนึ่ง เหมาะสำหรับกรณีจุดเปลี่ยนข้อมูลสูง (Height Breakdown Point) คือมีจำนวน 50% ของค่าสังเกตทั้งหมด (Montgomery, Peck, & Vining, 2006, p. 386) ซึ่งการหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนักอย่างซ้ำ (Iteratively Re-weighted Least Squares: IRLS) โดยนำค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่คำนวณจากค่ามัธยฐานส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Median Absolute Deviation: MAD) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square: LS) มาเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในแต่ละรอบ ทั้งนี้ Rousseeuw and Croux (1993, p. 1276) และ Dave and Nakrani (2014, p. 327) ได้กล่าวถึงค่า *MAD* ที่เป็นค่าสถิติที่มีประสิทธิภาพประมาณ 37% เมื่อใช้กับค่าสังเกตที่มีการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) หรือแจกแจงปรกติ (Normal Distribution) เพราะใช้ค่าพารามิเตอร์บอกตำแหน่ง (Location Parameter) หรือใช้ค่ามัธยฐาน (Median) มาเป็นค่ากึ่งกลาง แล้ววัดระยะห่างจากค่านี้ไปทางด้านซ้ายและขวา หรือมีการคำนวณแบบสมมาตร (Symmetry) ที่ไม่เหมาะกับลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ ที่อาจมีผลต่อค่าถ่วงน้ำหนักที่นำไปใช้คำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่เรียกว่า “วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ (Adjusted S-estimator)” โดยพัฒนาค่าสถิติที่นำมาใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือใหม่ ที่นำมาแทนค่า *MAD* เพื่อใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ ที่นำมาใช้ถ่วงน้ำหนักสำหรับนำมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำสุด (ชญานิน บุญมานะ และนัท กุลวานิช, 2560) และใช้ค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) มาเป็นเกณฑ์การสร้างสมการพยากรณ์ (ผุสดี บุญรอด และกรวัฒน์ พลเยี่ยม, 2560) เพื่อให้ได้สมการที่นำไปใช้พยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศได้อย่างเหมาะสมที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้สถานการณ์การจำลอง จำนวน 540 สถานการณ์

3. เพื่อพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ โดยใช้วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

กรอบแนวคิดการวิจัย

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง เมื่อมีจุดแบ่งข้อมูล 50% ของข้อมูลทั้งหมดที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือ วิธีตัวประมาณค่า S ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยรูสชิว (Rousseeuw) และ โยไฮ (Yohai) ในปี ค.ศ.1984 และรูสชิว (Rousseeuw) และเลรอย (Leroy) เป็นผู้พัฒนาต่อเนื่องในปี ค.ศ. 1987 ซึ่ง Momgomery et al. (2006, p. 388) ได้กล่าวถึงหลักการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ว่า เป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่น้อยที่สุด ดังนี้

$$min_{\beta}\, \hat{\sigma}_S(r_1, r_2, \ldots, r_n) \tag{1.1}$$

เมื่อ r_i แทนค่าส่วนเหลือที่ i สำหรับ $i=1,2,3,\ldots,n$ และ $\hat{\sigma}_S$ แทนค่าประมาณของค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจำนวน n ค่าที่ประมาณจากค่าพารามิเตอร์ σ_S หรือ $\hat{\sigma}_S = S(r_1, r_2, \ldots, r_n) = S$ (Roelant, Aelst, & Croux, 2009, p. 879)

จากการที่ค่า *MAD* เป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 37% เมื่อใช้กับค่าสังเกตที่แจกแจงปรกติ หรือแจกแจงแบบเบ้มาก ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพื่อหาวิธีการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่ดีกว่าค่า *MAD* โดยใช้แนวคิดของตัวประมาณค่า Q_n ที่พัฒนาโดย Rousseeuw and Croux (1993) ที่เป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์กำหนดสเกลที่มีประสิทธิภาพมากกว่าค่า *MAD* เนื่องจากไม่ได้เป็นการวัดระยะห่างจากค่ากึ่งกลาง หรือไม่ได้มีการวัดแบบสมมาตร แต่เป็นการเปรียบเทียบผลต่างของค่าสังเกตทีละคู่ มาร่วมกับระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree) ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม (Prim's Algorithm) เพื่อนำมาใช้คัดเลือกส่วนเหลือที่นำมาเปรียบเทียบกันที่ละคู่ แล้วพิจารณาหาค่ามัธยฐานของผลต่างจากส่วนเหลือทีละคู่นี้ จึงได้ค่าสถิติใหม่คือ ค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกต ที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุด (Differential of Selected Observation by Minimum Spanning Tree: DMST) ดังแสดงตามสมการที่ 1.2 เพื่อนำค่าที่ได้นี้มาใช้แทนค่า *MAD* สำหรับเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก ในการคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยต่อไป

$$DMST = med\left\{\left|r_i^* - r_j^*\right|\right\} \tag{1.2}$$

เมื่อ *med* คือค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่ i หรือ r_i^* และส่วนเหลือที่ j หรือ r_j^* ที่เลือกมาจากระยะทางแบบยุคลิด และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม

ดังนั้นกรอบแนวคิดในการวิจัยนี้ จึงเป็นการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า S ที่เป็นการปรับค่าน้ำหนักใหม่แทนด้วย Q^{DMST} ซึ่งเกิดจากการนำค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้น มาใช้แทนค่า *MAD* เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ตามสมการที่ 1.3 ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งสามารถใช้ได้กับความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติหรือแจกแจงแบบเบ้มาก ๆ ได้ ที่แสดงได้ดังนี้

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y}) \qquad (1.3)$$

$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า Sปรับแก้

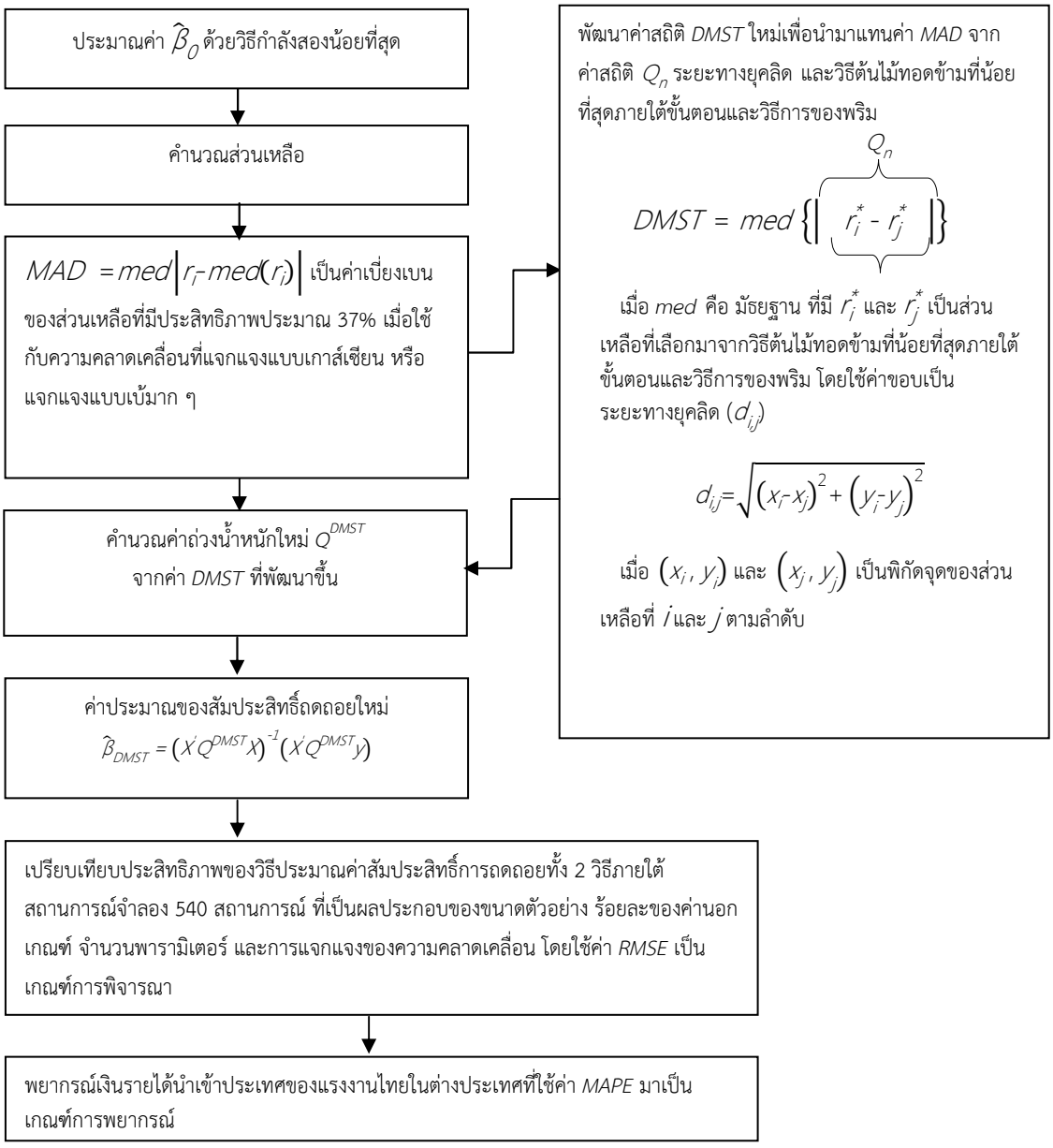
$\underline{X}$ คือ เมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{X}'$ คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{Y}$ คือ เวกเตอร์ค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์

Q^{DMST} คือ เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า *DMST*

เมื่อได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้แล้วจึงตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่านี้ จากรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ด้วยการจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ และประเมินประสิทธิภาพของการพยากรณ์จากค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เพื่อให้ได้สมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งกรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

1. ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ให้รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*RMSE*) น้อยกว่าค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้สถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์

2. พยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้นด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ให้ค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (*MAPE*) ไม่เกิน 10%

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ที่นำไปสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอยที่มีความแกร่งได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

2. ได้ทราบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้สถานการณ์จำลองจำนวน 540 สถานการณ์ ที่เป็นผลประกอบของ 4 เงื่อนไข ได้แก่ 1) ขนาดตัวอย่าง 2) ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 3) จำนวนพารามิเตอร์ และ 4) การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ที่จะนำค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ไปสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

3. สามารถพยากรณ์จำนวนเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ได้แม่นยำมากขึ้น เมื่อใช้ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้อยู่ภายใต้ขอบเขตของการวิจัยดังนี้

ขอบเขตของการวิจัยสำหรับวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 1 และข้อ 2

1. ศึกษาเฉพาะตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายและแบบพหุคูณ ที่มีตัวแปรทำนายตั้งแต่ 1 ตัวแปรถึง 6 ตัวแปร หรือมีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 7 ค่า

2. ไม่เกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ (Multicollinearity) ระหว่างตัวแปรทำนายทุกตัว

3. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีความแกร่งนี้ ปรับแก้จากวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี (Turky) ที่มีลักษณะของฟังก์ชันและเงื่อนไขดังนี้

$$\rho(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^4} & ; |u_i| \le c \\ \frac{c^6}{6} & ; |u_i| > c \end{cases}$$

เมื่อ c เป็นค่าคงที่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะให้ c=1.547 เมื่อใช้กับกรณีที่มีจุดแบ่งข้อมูลเท่ากับ 50% (Rousseeuw & Leroy, 2003, p. 142)

4. ศึกษาการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) โดยการทดลองซ้ำ จำนวน 1,000 รอบ (Roelant, Aelst, & Croux, 2009; (ชนัญกาญจน์ แสงประสาน, เสรี ชัดแช้ม และพัชรี วงษ์เกษม, 2558, หน้า. 36)

5. ศึกษาภายใต้สถานการณ์จำลอง จำนวน 540 สถานการณ์ ที่เป็นผลประกอบของขนาดตัวอย่าง ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ จำนวนพารามิเตอร์ และการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ดังนี้

5.1 ขนาดตัวอย่าง (n) จำนวน 5 เงื่อนไข คือ n = 20, 40, 60, 100 และ 200 (Habshah et al., 2009, p. 510)

5.2 ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ ($\boldsymbol{\delta}$) จำนวน 6 เงื่อนไข คือ $\boldsymbol{\delta}$ = ร้อยละ 5, ร้อยละ 10, ร้อยละ 15, ร้อยละ 20, ร้อยละ 25 และร้อยละ 30 (Habshah et al., 2009, p. 510)

5.3 จำนวนพารามิเตอร์ (p) จำนวน 6 เงื่อนไข คือ p = 2, 3, 4, 5, 6 และ 7

5.4 การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน 3 แบบ คือ แจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา ที่มีค่าพารามิเตอร์บอกรูปร่าง (α) = 2 และพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (β) = 1 และแจกแจงไวบูล ที่มีค่าพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (α) = 2 และค่าพารามิเตอร์บอกรูปร่าง (β) = 1

ขอบเขตของการวิจัยสำหรับวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 3

การพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อประชากรที่ศึกษาหรือตัวแปรที่ศึกษา (Study Variable) ประกอบด้วยตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) ที่แทนเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ แทนด้วย Y และตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) จำนวน 6 ตัวแปร ประกอบด้วย จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ แทนด้วย X_1 ถึง X_6 ตามลำดับ ที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ตัวแปรทำนาย หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศต่าง ๆ ที่ปรากฏในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย จำแนกเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ดังนี้

x_{1i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในไต้หวัน

x_{2i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในประเทศสิงคโปร์

x_{3i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในประเทศมาเลเซีย

x_{4i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในประเทศญี่ปุ่น

x_{5i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในประเทศอิสราเอล

x_{6i} คือ จำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานในประเทศอื่น ๆ

2. ตัวแปรเกณฑ์ หมายถึง เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (ล้านบาท) ที่ปรากฏในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทยจำแนกเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

นิยามศัพท์เฉพาะ

วิธีตัวประมาณค่า S (S-estimator) หมายถึง วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งวิธีหนึ่ง ที่ใช้กับจุดเปลี่ยนข้อมูลสูง

วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ (Adjusted S-estimator) หมายถึง วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งที่ปรับแก้จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่นำค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นไปใช้แทนค่า *MAD* ของขั้นตอนการประมาณค่า

ส่วนเหลือ (Residual) หมายถึง ผลต่างของค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ประมาณขึ้นจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย

ฟังก์ชันเพียงพอ (Influence Function) หมายถึง ฟังก์ชันที่แสดงผลกระทบของค่านอกเกณฑ์ ที่มีต่อตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย แฮมเพล (Hampel) ในปี ค.ศ. 1974

จุดแบ่งข้อมูล (Breakdown Point) คือ ค่าที่ใช้วัดความต้านทาน (Resistance) ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์

จุดที่เพิ่มขึ้น (Leverage Point) หมายถึง จุดที่แสดงความผิดปกติที่สามารถพิจารณาได้จากลักษณะการกระจายของค่าสังเกต ที่แสดงตำแหน่งของจุดค่าสังเกตที่อยู่ห่างออกไปจากกลุ่มของจุดค่าสังเกตส่วนใหญ่ หรือกลุ่มของจุดค่าสังเกตทั้งหมด

ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย (Outlier of Predictor Variable) หมายถึง ข้อมูลหรือค่าสังเกตที่ได้จากตัวแปรทำนาย ซึ่งเป็นค่าที่แยกออกจากกลุ่ม หรือแตกต่างไปจากค่าสังเกตอื่นทั้งหมด

ต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree) หมายถึง กราฟต้นไม้ที่แสดงผลรวมของน้ำหนักที่เป็นผลประกอบของจุดกับค่าขอบ (Edge) ทั้งหมดของกราฟ ที่ให้ค่าผลรวมของน้ำหนักมีค่าน้อยที่สุด

ระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรงบนระนาบ ซึ่งใช้เป็นค่าน้ำหนักสำหรับต้นไม้แบบทอดข้าม

สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) หมายถึง ค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเกณฑ์ เมื่อตัวแปรทำนายตัวหนึ่งเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย โดยที่ตัวแปรทำนายตัวอื่น ๆ คงที่

ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า (Efficiency of Estimator) หมายถึง สมบัติที่ดีของตัวประมาณค่า ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์มากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) หมายถึง ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ที่แสดงรากของค่าเฉลี่ยจากผลต่างระหว่างค่าจริงของค่าสังเกตกับค่าที่ประมาณขึ้นทั้งหมดยกกำลังสอง

ร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) หมายถึง ค่าที่วัดความแม่นยำของการพยากรณ์ที่คำนวณจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เมื่อเทียบกับค่าจริงของค่าสังเกตโดยไม่นำเครื่องหมายมาพิจารณา

แรงงานไทย (Thai Workers) หมายถึง บุคคลสัญชาติไทยที่ประกอบอาชีพและมีรายได้หรือได้รับค่าตอบแทนที่เป็นตัวเงินที่แน่นอน

แรงงานไทยในต่างประเทศ (Overseas Thai Workers) หมายถึง บุคคลที่มีสัญชาติไทยที่ประกอบอาชีพและมีรายได้ หรือได้รับค่าตอบแทนที่เป็นตัวเงินที่แน่นอน จากการไปทำงานต่างประเทศ ที่ปรากฏในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ได้แก่ ไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ

เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (Income of Overseas Thai Workers) หมายถึง เงินรายได้หรือค่าตอบแทนของแรงงานไทย ที่ส่งกลับเข้ามาในประเทศไทยรายเดือนผ่านระบบธนาคาร ที่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศ (Number of Overseas Thai Workers) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศต่าง ๆ ที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ได้แก่ ไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ

จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน (Number of Thai Workers in Taiwan) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในไต้หวันที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ (Number of Thai Workers in Singapore) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศสิงคโปร์ที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในประเทศมาเลเซีย (Number of Thai Workers in Malaysia) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศมาเลเซียที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น (Number of Thai Workers in Japan) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศญี่ปุ่นที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในประเทศอิสราเอล (Number of Thai Workers in Israel) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศอิสราเอลที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

จำนวนแรงงานไทยในประเทศอื่น ๆ (Number of Thai Workers in Other Countries) หมายถึง จำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล ที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย และปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีความแกร่ง เพื่อนำมาพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้การจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ เพื่อให้ได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ที่นำไปสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ แบ่งการศึกษาออกเป็น 7 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ค่านอกเกณฑ์

ตอนที่ 3 วิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยที่สุดภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 5 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 6 กระบวนการจำลองแบบปัญหา

ตอนที่ 7 รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นหรือตัวแปรทำนายกับตัวแปรตามหรือตัวแปรเกณฑ์ (Tabatabai, Ebay, Li., & Bae, 2012, pp. 66-67) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปตัวแบบเส้นตรง (Linear Model) ได้ตามสมการที่ 2.1

$$\underline{Y} = \underline{X}\underline{\beta} + \underline{\varepsilon} \tag{2.1}$$

เมื่อ $\underline{Y}$ เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรเกณฑ์ที่มีมิติ $n \times 1$ มีค่าเท่ากับ $\left(y_1, y_2, y_3, \ldots, y_n\right)'$

$\underline{X}$ เป็นเมทริกซ์ของตัวแปรทำนายในสมการถดถอย n สมการ ที่มีมิติเป็น $n \times p$

$\underline{\beta}$ เป็นเวกเตอร์ของค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในตัวแบบถดถอยที่มีมิติเป็น $p \times 1$ มีค่าเท่ากับ $\left(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots, \beta_k\right)'$

$\underline{\varepsilon}$ เป็นเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อน (Error) ที่มีมิติเป็น $n \times 1$ มีค่าเท่ากับ $\left(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots, \varepsilon_n\right)'$

จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ (Vector) และเมทริกซ์ (Matrix) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n\times 1} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}_{n\times p} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}_{p\times 1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n\times 1}$$

เมื่อ p เป็นจำนวนพารามิเตอร์ในตัวแบบถดถอยมีค่าเท่ากับ $k+1$

n เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

การประมาณค่าพารามิเตอร์

Montgomery et al. (2006, pp. 66-70) การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบถดถอยจากสมการที่ 2.1 สามารถใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ถ้าให้ n แทนจำนวนค่าสังเกต และ k แทนจำนวนตัวแปรทำนายทั้งหมด โดยที่ $n > k$ เมื่อ $\underline{Y}_i$ แทนตัวแปรเกณฑ์ที่ i และ x_{ij} แทนค่าสังเกตที่ i จากตัวแปรทำนายที่ $\underline{X}_j$ ซึ่งค่าสังเกตจากตัวแปรทั้งหมด แสดงได้ตามตารางที่ 2-1 โดยความคลาดเคลื่อนในตัวแบบ หรือ $\underline{\varepsilon}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ หรือ $E(\underline{\varepsilon}) = 0$ และความแปรปรวนมีค่าคงที่เท่ากับ σ^2 หรือ $\text{Var}(\underline{\varepsilon}) = \sigma^2$

ตารางที่ 2-1 ค่าสังเกตจากตัวแปรทั้งหมดของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ค่าสังเกต (i)	ตัวแปรเกณฑ์ ($\underline{Y}$)	ตัวแปรทำนาย			
		$\underline{X}_1$	$\underline{X}_2$	....	$\underline{X}_k$
1	y_1	x_{11}	x_{12}	....	x_{1k}
2	y_2	x_{21}	x_{22}	....	x_{2k}
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
n	y_n	x_{n1}	x_{n2}	....	x_{nk}

จากตัวแบบถดถอยในสมการที่ 2.1 และตารางที่ 2-1 สามารถเขียนตัวแบบถดถอยใหม่ได้ดังนี้

$$\underline{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i$$

ถ้า $S(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k)$ แทนผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Error) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$S(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} \right)^2 \qquad (2.2)$$

จากหลักการของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดคือ วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่า $S(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k)$ ในสมการที่ 2.2 ที่มีค่าน้อยที่สุด เมื่อใช้วิธีการแก้สมการจากอนุพันธ์ย่อย (Partial Derivatives) ของ $S(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k)$ เทียบกับ $\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k$ ดังแสดงตามสมการที่ 2.3 และ 2.4 ดังนี้

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_0} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, ..., \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^{k} \hat{\beta}_j x_{ij} \right) = 0 \qquad (2.3)$$

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_j} \right|_{\hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1 ... \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^{k} \hat{\beta}_j x_{ij} \right) x_{ij} = 0 \;\; ; \; j = 1,2,..., k \qquad (2.4)$$

จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 จะได้สมการปกติของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Normal Equations) ตามสมการที่ 2.5

$$n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^{n} x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^{n} x_{i2} + ... + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^{n} x_{ik} = \sum_{i=1}^{n} y_i$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^{n} x_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^{n} x_{i1}^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^{n} x_{i1} x_{i2} + ... + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^{n} x_{i1} x_{ik} = \sum_{i=1}^{n} x_{i1} y_i$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^{n} x_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^{n} x_{ik} x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^{n} x_{ik} x_{i2} + ... + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^{n} x_{ik}^2 = \sum_{i=1}^{n} x_{ik} y_i \qquad (2.5)$$

หากพิจารณาจากตัวแบบถดถอยที่อยู่ในตัวแบบเมทริกซ์ ตามสมการที่ 2.1 จะแสดงหลักการของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังนี้

$$S(\underline{\beta}) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \underline{\varepsilon}' \underline{\varepsilon} = \left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta} \right)' \left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta} \right)$$

ดังนั้น จึงได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย จากการแก้สมการจากอนุพันธ์ย่อย ดังนี้

$$\left.\frac{\partial S}{\partial \beta}\right|_{\underline{\hat{\beta}}} = -2\underline{X}'\underline{Y} + 2\underline{X}'\underline{X}\underline{\hat{\beta}} = 0 \qquad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 ได้สมการปกติของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังนี้

$$\underline{X}'\underline{X}\underline{\hat{\beta}} = \underline{X}'\underline{Y} \qquad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.7 ได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ ตามสมการที่ 2.8

$$\underline{\hat{\beta}} = \left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{Y} \qquad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 เมทริกซ์ $\underline{X}'\underline{X}$ เป็นเมทริกซ์สมมาตร (Symmetric Matrix) ที่มีมิติ $p \times p$ และเมทริกซ์ $\underline{X}'\underline{Y}$ เป็นเมทริกซ์สดมภ์ (Column Matrix) ที่มีมิติ $p \times 1$ เมื่อ $p = 1, 2, 3, \ldots, k+1$

จากสมการที่ 2.7 แสดงเมทริกซ์ของสมการปกติ (Normal Equation) เพื่อใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_{ik} \\ \sum_{i=1}^{n} x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2 & \sum_{i=1}^{n} x_{i1}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} x_{ik} & \sum_{i=1}^{n} x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{ik}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_{ik}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} y_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} x_{ik}y_i \end{bmatrix}$$

ทั้งนี้จะได้ค่าของตัวแปรเกณฑ์ จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้น จากเมทริกซ์ของตัวแปรทำนาย $\underline{X}$ ที่มีเมทริกซ์ผกผัน $\underline{X}'$ เมื่อ $\underline{X}' = [\,1, x_1, x_2, \ldots, x_k\,]$ ตามสมการที่ 2.9

$$\underline{\hat{Y}} = \underline{X}'\underline{\hat{\beta}} = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^{k}\underline{\hat{\beta}}_j x_j \qquad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 แสดงให้อยู่ในรูปเมทริกซ์กับค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์ $\underline{\hat{Y}}$ ได้ดังนี้

$$\underline{\hat{Y}} = \underline{X}\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{Y} = \underline{H}\,\underline{Y} \qquad (2.10)$$

เมื่อ $\underline{H}$ เป็นเมทริกซ์แฮท (Hat Matrix) โดยที่ $\underline{H} = \underline{X}\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'$ มีมิติเป็น $n \times n$ ทั้งนี้ ผลต่างระหว่างค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์ $\underline{Y}$ และค่าที่พยากรณ์ได้ หรือ $\underline{\hat{Y}}$ คือส่วนเหลือซึ่งจะแสดงในรูปของเมทริกซ์ $\underline{r}$ ดังนี้

$$\underline{r} = \underline{Y} - \underline{\hat{Y}} \tag{2.11}$$

จากสมการที่ 2.11 แสดงในรูปแบบความสัมพันธ์กับเมทริกซ์แฮท ได้ดังนี้

$$\underline{r} = \underline{Y} - \underline{X}'\underline{\hat{\beta}} = \underline{Y} - \underline{H}\,\underline{Y} = \left(\underline{I} - \underline{H}\right)\underline{Y}$$

เมื่อ $\underline{I}$ คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)

สมบัติของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Properties of the Least-Square Estimators)

Montgomery et al. (2006, pp. 75-77) ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย ($\underline{\hat{\beta}}$) จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมีสมบัติตัวประมาณไม่เอนเอียง (Unbiased Estimator) ที่พิสูจน์ได้ ดังนี้

$$\mathrm{E}\left(\underline{\hat{\beta}}\right) = \mathrm{E}\left[\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{Y}\right] = \mathrm{E}\left[\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\left(\underline{X}\underline{\beta} + \underline{\varepsilon}\right)\right]$$

$$= \mathrm{E}\left[\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{X}\underline{\beta} + \left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{\varepsilon}\right] = \underline{\beta}$$

โดยที่ $\mathrm{E}\left(\underline{\varepsilon}\right) = 0$ และ $\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{X} = \underline{I}$ ดังนั้น $\underline{\hat{\beta}}$ จึงมีสมบัติความไม่เอนเอียงของ $\underline{\beta}$

เมื่อพิจารณาจากค่าความแปรปรวนร่วมของ $\underline{\hat{\beta}}$ แสดงได้ตามสมการที่ 2.12

$$\mathrm{Cov}\left(\underline{\hat{\beta}}\right) = \mathrm{E}\left\{\left[\underline{\hat{\beta}} - \mathrm{E}\left(\underline{\hat{\beta}}\right)\right]\left[\underline{\hat{\beta}} - \mathrm{E}\left(\underline{\hat{\beta}}\right)\right]'\right\} \tag{2.12}$$

ความแปรปรวนร่วมของ $\underline{\hat{\beta}}$ เป็นเมทริกซ์สมมาตรที่มีมิติ $p \times p$ โดยสมาชิกในแถวที่ j เป็นความแปรปรวนของ $\underline{\hat{\beta}}_j$ และสมาชิกที่ jj เป็นความแปรปรวนร่วมระหว่าง $\underline{\hat{\beta}}_i$ และ $\underline{\hat{\beta}}_j$ เมื่อ$\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'$

เป็นเมทริกซ์ของค่าคงที่ (Constant Matrix) และความแปรปรวนของ $\underline{Y}$ คือ $\sigma^2\underline{I}$ ดังนั้น จากสมการที่ 2.12 สามารถจัดรูปใหม่ได้ ดังนี้

$$\text{Cov}\left(\underline{\hat{\beta}}\right) = \text{Var}\left[\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{Y}\right] = \left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\,\text{Var}(\underline{Y})\left[\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\right]'$$

$$= \sigma^2\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{X}\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1} = \sigma^2\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}$$

การประมาณค่า σ^2

การประมาณค่า σ^2 สามารถประมาณได้จากผลรวมกำลังสองของส่วนเหลือ (Sum Square Residual: SS_{Res}) ดังนี้

$$SS_{Res}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2$$

สามารถคำนวณค่า SS_{Res} ได้ดังนี้

$$SS_{Res} = \left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)'\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)$$

$$= \underline{Y}'\underline{Y} - 2\underline{\hat{\beta}}'\underline{X}'\underline{Y} + \underline{\hat{\beta}}'\underline{X}'\underline{X}\underline{\beta} \qquad (2.13)$$

เมื่อแทนค่า $\underline{X}'\underline{X}\underline{\beta} = \underline{X}'\underline{Y}$ จากสมการที่ 2.13 จะได้ SS_{Res} ใหม่ ดังนี้

$$SS_{Res} = \underline{Y}'\underline{Y} - \underline{\hat{\beta}}'\underline{X}'\underline{Y}$$

เมื่อ $n - p$ แทนองศาเสรี (Degree of Freedom) และได้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนเหลือ (Mean Square Residual: MS_{Res}) ดังนี้

$$MS_{Res} = \frac{SS_{Res}}{n-p}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood)

Montgomery et al. (2006, pp. 79 - 82) กล่าวถึงการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดว่า ใช้เมื่อความคลาดเคลื่อนในตัวแบบถดถอย หรือ $\underline{\varepsilon}$ แจกแจง

ปรกติ และเป็นอิสระกันเช่นเดียวกับวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยถ้าให้ $f\left(\underline{\varepsilon}\right)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงแล้วความน่าจะเป็นของ $\underline{\varepsilon}$ แสดงตามสมการ 2.14

$$f\left(\underline{\varepsilon}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\underline{\varepsilon}^2\right) \tag{2.14}$$

ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Function) ของ $\underline{\varepsilon}$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Density Function) ของ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ หรือ $\prod_{i=1}^{n} f\left(\underline{\varepsilon}\right)$ ที่แสดงได้ตามสมการที่ 2.15

$$\prod_{i=1}^{n} f\left(\underline{\varepsilon}\right) = L\left(\underline{\varepsilon}, \underline{\beta}, \sigma^2\right) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}\sigma^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\underline{\varepsilon}'\underline{\varepsilon}\right) \tag{2.15}$$

จากสมการที่ 2.15 ถ้าให้ $\underline{\varepsilon} = \underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}$ แล้วจะได้ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นใหม่ ดังนี้

$$L\left(\underline{\varepsilon}, \underline{\beta}, \sigma^2\right) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}\sigma^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)'\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)\right) \tag{2.16}$$

จากสมการ 2.16 เปลี่ยนเป็นรูปแบบเส้นตรงใช้ค่าลอการิทึม (Logarithm) ดังนี้

$$\ln L\left(\underline{Y}, \underline{X}, \underline{\beta}, \sigma^2\right) = -\frac{n}{2}\ln(2\pi) - n\ln(\sigma) - \frac{1}{2\sigma^2}\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)'\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)$$

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณของ $\underline{\beta}$ ภายใต้เงื่อนไขที่ $\underline{\varepsilon}$ มีการแจกแจงปรกติ ดังนี้

$$\hat{\underline{\beta}} = \left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'\underline{Y}$$

นอกจากนี้จะได้ค่าประมาณของ σ^2 หรือ $\hat{\sigma}^2$ ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ดังนี้

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)'\left(\underline{Y} - \underline{X}\underline{\beta}\right)}{n}$$

การทดสอบสมมุติฐานของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การทดสอบสมมุติฐานของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นการทดสอบว่าตัวแบบถดถอยที่

วิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องหรือไม่ และตัวแปรทำนายใดที่มีความสำคัญมากที่สุด ภายใต้ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ หรือ $E(\underline{\varepsilon}) = 0$ และค่าความแปรปรวนคงที่ หรือ $Var(\underline{\varepsilon}) = \sigma^2$ แสดงได้ดังนี้

การทดสอบการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญ (Test for Significance of Regression)

การทดสอบการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรทำนายทุกตัวกับตัวแปรเกณฑ์ ซึ่งเป็นการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวแบบถดถอยภายใต้สมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_k = 0$$
$$H_1 : \beta_j \neq 0 \quad \text{สำหรับค่า } j \text{ ตั้งแต่ 1 ค่าขึ้นไป}$$

ผลการทดสอบจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า $F_0 > F_{\alpha,k,n-k-1}$ ซึ่งจะแสดงว่า มีตัวแปรทำนายอย่างน้อย 1 ตัวแปรอยู่ในตัวแบบถดถอยนี้ เมื่อ $F_0 = \frac{SS_R/k}{SS_{Res}/(n-k-1)} = \frac{MS_R}{MS_{Res}}$

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการแสดงค่าผลบวกกำลังสองของยอดรวม (Total Sum of Square: SS_T) ที่แบ่งออกเป็นผลบวกกำลังสองของการถดถอย (Sum Square due to Regression: SS_R) และผลบวกกำลังสองของส่วนเหลือ (Residual Sum of Square: SS_{Res}) ดังนี้

$$SS_T = SS_R + SS_{Res}$$

เมื่อ $SS_{Res} = \underline{Y}'\underline{Y} - \underline{\hat{\beta}}'\underline{X}'\underline{Y}$ และ $SS_T = \underline{Y}'\underline{Y} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \underline{Y}_i\right)^2}{n}$

ทั้งนี้แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ตามตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

สาเหตุของความผันแปร (Source of Variation)	ผลบวกกำลังสอง (Sum Square)	องศาเสรี	กำลังสองเฉลี่ย (Mean Square)	F
การถดถอย	SS_R	k	MS_R	$\frac{MS_R}{MS_{Res}}$
ส่วนเหลือ	SS_{Res}	$n-k-1$	MS_{Res}	
ผลรวม	SS_T	$n-1$		

การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยรายค่า (Test on Individual Regression Coefficient)

การพิจารณาว่าตัวแบบถดถอยมีตัวแปรทำนายอยู่ในระบบหรือไม่ สามารถทดสอบสมมุติฐานค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรายค่า ภายใต้สมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \underline{\beta}_j = 0$$
$$H_1 : \underline{\beta}_j \neq 0$$

เมื่อ t_0 คือค่าสถิติทดสอบที่ใช้ ดังนี้

$$t_0 = \frac{\hat{\underline{\beta}}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 c_{ji}}} = \frac{\hat{\underline{\beta}}_j}{se\left(\hat{\underline{\beta}}_j\right)}$$

เมื่อ c_{ji} เป็นสมาชิกของเมทริกซ์ $\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}$ ที่ตรงกับค่า $\hat{\underline{\beta}}_j$ ผลการทดสอบจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2},n-k-1}$ และหากไม่ปฏิเสธ H_0 ต้องพิจารณาตัดตัวแปรทำนาย $\underline{X}_j$ ออกจากตัวแบบถดถอย

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

Montgomery et al. (2006, p. 122) การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบถดถอยในสมการที่ 2.1 จะพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์ และตัวแปรทำนายต้องเป็นแบบเชิงเส้น
2. ความคลาดเคลื่อน ($\underline{\varepsilon}$) ต้องมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์
3. ความแปรปรวนของค่า $\underline{\varepsilon}$ คงที่มีค่าเท่ากับ σ^2
4. ค่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน
5. ค่า $\underline{\varepsilon}$ ต้องมีการแจกแจงปรกติ

เงื่อนไขข้อที่ 1 สามารถตรวจสอบได้จากสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และจากเงื่อนไขของ $\underline{\varepsilon}$ ตั้งแต่ข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 5 ที่ $\underline{\varepsilon}$ ต้องมีการแจกแจงปรกติที่แต่ละค่าเป็นอิสระกัน ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 ซึ่งเขียนได้ใหม่เป็น $\underline{\varepsilon} \sim \text{NID}(\underline{0}, \sigma^2)$ โดยที่ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย หรือ $\underline{\hat{\beta}}$ จะมีสมบัติเป็นตัวประมาณเชิงเส้นไม่เอนเอียงดีที่สุด (Best Linear Unbiased Estimates: BLUE) ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขนี้ทั้งหมด แต่ถ้าพบว่า $\underline{\varepsilon}$ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ แสดงว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุดไม่ได้เป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ดี โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ $\underline{\varepsilon}$ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขคือ เกิดค่านอกเกณฑ์ (Outlier) ขึ้นกับค่าสังเกตที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การถดถอย(Yarmohammadi & Mahmoudvand, 2010, p. 133) สามารถตรวจสอบเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับค่า $\underline{\varepsilon}$ ได้จากส่วนเหลือที่จะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

การวิเคราะห์ส่วนเหลือ (Residual Analysis)

การวิเคราะห์ส่วนเหลือเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการพิจารณาว่า $\underline{\varepsilon}$ อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ทั้งยังนำมาใช้เป็นเกณฑ์การพิจารณาหาค่าสุดขีด (Extreme Values) จากค่าสังเกตทั้งหมด โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1. การพิจารณาว่า $\underline{\varepsilon}$ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

จากเงื่อนไขที่ค่าเฉลี่ยของ $\underline{\varepsilon}$ ต้องมีค่าเป็นศูนย์ สามารถตรวจสอบได้จากค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือ ($\bar{r}$) ดังนี้

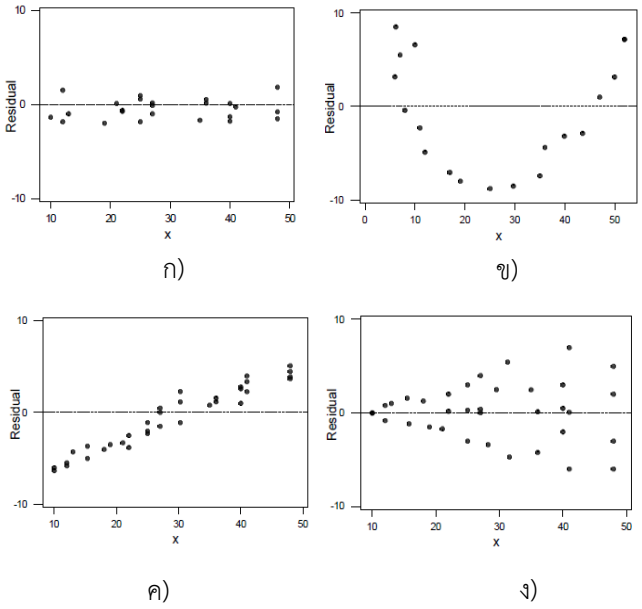
$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_i}{n} = 0$$

เมื่อความแปรปรวนของส่วนเหลือแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} (r_i - \bar{r})^2}{n-p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} r^2}{n-p} = \frac{SS_{Res}}{n-p} = MS_{Res}$$

2. ความแปรปรวนของ $\underline{\varepsilon}$ คงที่มีค่าเท่ากับ σ^2

การพิจารณาว่าความแปรปรวนของ $\underline{\varepsilon}$ มีค่าคงที่เท่ากับ σ^2 หรือไม่นั้น พิจารณาจากแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือตามภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 แผนภาพการกระจายของตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือในรูปแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-1 ก) ถึง ง) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือในลักษณะต่าง ๆ โดยพบว่า ภาพที่ 2-1 ก) ส่วนเหลือมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ ภาพที่ 2-1 ข) ส่วนเหลือมีการกระจายตัวเป็นแบบโค้งพาราโบลา (Parabola) และภาพที่ 2-1 ค) ส่วนเหลือมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าของตัวแปรทำนาย แต่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของส่วนเหลือทั้ง 3 ภาพแสดงให้เห็นว่า ความแปรปรวนของส่วนเหลือคงที่ ส่วนภาพที่ 2-1 ง) แสดงแผนภาพการกระจายของส่วนเหลือที่มีลักษณะเป็นรูปปากแตร กล่าวคือ เมื่อตัวแปรทำนายมีค่าต่ำแล้ว ความแปรปรวนของส่วนเหลือจะน้อย ในขณะที่ความแปรปรวนของส่วนเหลือจะเพิ่มขึ้นหากตัวแปรทำนายมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า ความแปรปรวนของส่วนเหลือไม่คงที่

นอกจากนี้อาจพิจารณาความแปรปรวนของส่วนเหลือได้จากแผนภาพการกระจายอื่น ๆ ได้แก่ แผนภาพการกระจายระหว่างค่าพยากรณ์กับส่วนเหลือ แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรทำนายกับค่าสัมบูรณ์ของส่วนเหลือ หรือแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือกำลังสอง และแผนภาพการกระจายระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าสัมบูรณ์ของส่วนเหลือ หรือกับส่วนเหลือกำลังสอง ซึ่งมีหลักการพิจารณาเช่นเดียวกันกับแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรทำนายกับส่วนเหลือตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

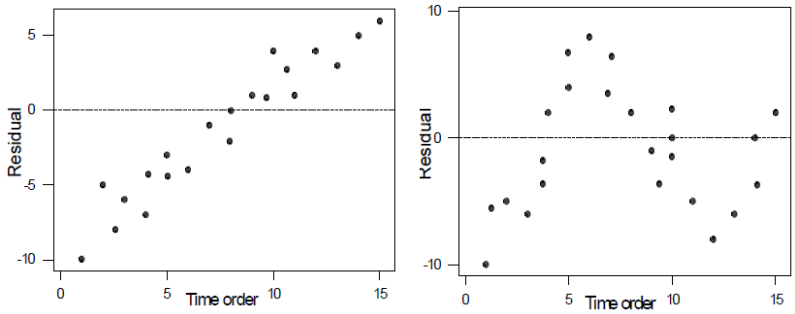
3. ค่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

การพิจารณาเงื่อนไขของค่า $\underline{\varepsilon}$ ที่ต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือเป็นอิสระกันนั้น มีวิธีการทดสอบ 2 วิธี ได้แก่ การเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือกับลำดับเวลา และการใช้

สถิติทดสอบของ Durbin – Watson โดยเรียกปัญหาที่ส่วนเหลือมีความสัมพันธ์กัน หรือไม่เป็นอิสระกันว่าเป็นปัญหาสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation)

3.1 การเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือกับลำดับเวลา

หลักการพิจารณาความเป็นอิสระกันของส่วนเหลือจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือกับลำดับเวลานั้น พิจารณาจากแผนภาพการกระจายระหว่างส่วนเหลือกับเวลา โดยพบว่า หากมีการกระจายที่เป็นรูปแบบคือ มีแนวโน้มสูงขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นรูปแบบ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบวัฏจักร (Circle) แล้ว $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะไม่เป็นอิสระกัน แสดงตามแผนภาพที่ 2-2 แต่ถ้าส่วนเหลือมีการกระจายสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าเป็นอิสระกัน



ก) ข)

ภาพที่ 2-2 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนเหลือกับเวลา

จากภาพที่ 2-2 ก) พบว่าลักษณะการกระจายของส่วนเหลือมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเป็นรูปแบบ และภาพที่ 2-2 ข) พบลักษณะการกระจายของส่วนเหลือมีรูปแบบเป็นวัฏจักร แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าไม่เป็นอิสระกัน

3.2 การใช้สถิติทดสอบของ Durbin – Watson

สถิติทดสอบของ Durbin – Watson เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของส่วนเหลือที่เวลา t กับเวลา t-1 หรือ r_t กับ r_{t-1} ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

H_0 : ค่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าไม่มีสหสัมพันธ์ในตัว

H_1 : ค่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่ามีสหสัมพันธ์ในตัว

สถิติทดสอบของ Durbin – Watson แสดงได้ดังนี้

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}\left(r_t - r_{t-1}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n} r_t^2}$$

หากนำสถิติทดสอบของ Durbin – Watson ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติในตารางของ Durbin – Watson จะมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

ค่า d มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 4

ค่า d เข้าใกล้ 2 แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะเป็นอิสระกัน

ค่า d น้อยกว่า 2 แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก โดยที่ d เข้าใกล้ 0 แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันมาก

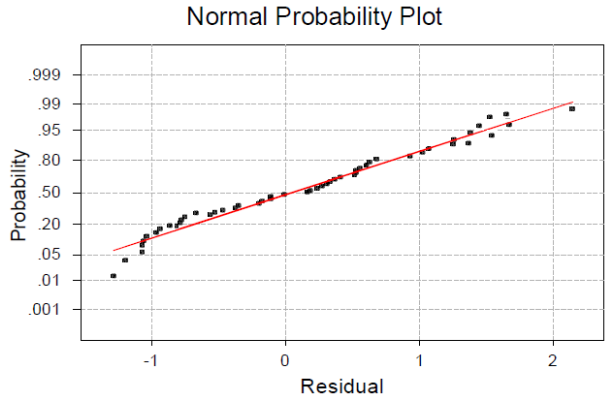
ค่า d มากกว่า 0 แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันในทิศทางลบ โดยที่ d เข้าใกล้ 4 แสดงว่า $\underline{\varepsilon}$ แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันมาก

4. ค่า $\underline{\varepsilon}$ ต้องมีการแจกแจงปรกติ

การพิจารณาว่า $\underline{\varepsilon}$ มีการแจกแจงปรกติหรือไม่นั้น พิจารณาจากแผนภูมิหรือแผนภาพการกระจายของส่วนเหลือ และการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ ดังนี้

4.1 การพิจารณาจากแผนภูมิหรือแผนภาพการกระจาย

การพิจารณาการแจกแจงปรกติของส่วนเหลือโดยทั่วไปมักพิจารณาจากฮิสโทแกรม (Histogram) แผนภาพกล่อง (Box plot) และแผนภาพจุด (Dot Plot) นอกจากนี้ยังพิจารณาได้จากแผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปรกติ (Normal Probability Plot) ที่เป็นแผนภาพแสดงความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability) ของส่วนเหลือ r_i ที่จัดลำดับแล้ว แทนด้วย P_i เมื่อ $P_i = \left(i - \frac{1}{2}\right)/n$ โดยที่ $i = 1, 2, 3, \ldots, n$ หากนำค่าความน่าจะเป็นที่ได้มาลงจุด (Plot) จะพบลักษณะของจุดเรียงต่อกันเป็นไปในแนวเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งหากพบว่ามีจุดที่อยู่ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางมาก ๆ จะถือว่าจุดนั้นเป็นค่าสุดขีด ที่แสดงว่าส่วนเหลือไม่ได้แจกแจงปรกติ ตามภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปรกติของส่วนเหลือ

จากภาพที่ 2-3 พบส่วนเหลือที่มีค่าน้อยมีความน่าจะเป็นต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่นเดียวกับส่วนเหลือที่มีค่ามาก แต่ส่วนเหลือที่มีค่าอยู่ระดับกลางจะมีความน่าจะเป็นสูงกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งลักษณะเช่นนี้แสดงได้ว่า ส่วนเหลือจะมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย หรือเบ้ทางลบ (Negative

Skewness) ซึ่งการลงจุดในแผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปรกติอาจเป็นการลงจุดระหว่างค่าคาดหมายปกติ (Expected Normal Value) หรือ $E(r_i) = \Phi^{-1}\left[\left(i-\frac{1}{2}\right)/n\right]$ กับส่วนเหลือที่จัดลำดับแล้ว เมื่อ Φ แทนการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปรกติมาตรฐาน (Standard Normal Cumulative Distribution) (Montgomery et al., 2006, p. 129)

4.2 การพิจารณาการแจกแจงปรกติของความคลาดเคลื่อนจากสถิติทดสอบ

การพิจารณาการแจกแจงปรกติของความคลาดเคลื่อน เพื่อนำไปพิจารณาการแจกแจงของส่วนเหลือจากสถิติทดสอบภายใต้สมมุติฐาน ดังนี้

H_0 : ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ

H_1 : ความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงปรกติ

สถิติทดสอบสำหรับทดสอบการแจกแจงปรกติของความคลาดเคลื่อนแสดงได้ ดังนี้

4.2.1 สถิติทดสอบไคกำลังสอง (Chi-Square Test) หรือ χ^2 คำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

เมื่อ O_i แทน ความถี่ของค่าสังเกต (Obsearved Frequency) เป็นความถี่หรือจำนวนครั้งที่เกิดในระดับที่ i ที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างขนาด n

E_i แทน ความถี่ของค่าคาดหมาย (Expected Frequency) เป็นความถี่หรือจำนวนครั้งของระดับที่ i ที่ว่าจะเกิดขึ้นภายใต้ H_0

k แทน จำนวนกลุ่มหรือจำนวนระดับของตัวแปรที่ศึกษา

n แทน ขนาดตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

การทดสอบให้ผลปฏิเสธ H_0 หรือค่าสังเกตมีการแจกแจงปรกติ เมื่อ $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha,k-1}$

4.2.2 การใช้ค่าสถิติทดสอบ Kolmogorov – Sminov หรือ D คำนวณได้ดังนี้

$$D = \max\left|F(x) - S(x)\right|$$

เมื่อ $S(x)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมของค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์

$F(x)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมแบบปรกติ

การทดสอบจะให้ผลปฏิเสธ H_0 หรือค่าสังเกตมีการแจกแจงปรกติ เมื่อ D มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติที่ได้จากตารางของ Kolmogorov – Sminov

4.2.3 การใช้ค่าสถิติทดสอบ Lilliefors ที่มีค่าสถิติทดสอบ ดังนี้

$$D = \max\left|F(x) - S(x)\right|$$

เมื่อ $S(x)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมของค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์

$F(x)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมแบบปรกติ

การทดสอบให้ผลปฏิเสธ H_0 หรือค่าค่าสังเกตมีการแจกแจงปรกติ เมื่อ D มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติที่ได้จากตารางของ Lilliefors เช่นเดียวกับ Kolmogorov – Sminov

ปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ

ความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรทำนายมีความสัมพันธ์กันเอง ซึ่งผลที่ตามมาจากปัญหานี้คือ 1) ทำให้ค่าความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์การถดถอยสูงขึ้นผิดปกติ 2) ทำให้สัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น 3) มีผลทำให้ทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรทำนายกับตัวแปรเกณฑ์ไม่ถูกต้อง 4) มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าไม่คงที่ เมื่อมีตัวแปรทำนายอื่นเพิ่มขึ้นมาหรือลดลงจากเดิม และ 5) เมื่อมีข้อมูลบางตัวหายไปจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเปลี่ยนไปมาก

การทดสอบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนายจะใช้สถิติทดสอบ F หรือใช้ค่าสถิติทดสอบ t โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทำนายต่าง ๆ แล้วทดสอบสมมุติฐานเพื่อดูว่า ตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งถ้าพบความสัมพันธ์กันของตัวแปรทำนายคู่ใดแล้วจะเลือกเฉพาะตัวแปรทำนายตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้นมาวิเคราะห์ หรืออาจจะใช้วิธีเลือกตัวแปรทำนายทีละตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรเกณฑ์เข้ามาในสมการถดถอย ซึ่งถ้าเลือกมาแล้วพบว่า ตัวแปรทำนายนี้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรทำนายที่เลือกมาก่อนหน้าแล้วจะเลือกตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้นมาวิเคราะห์ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่ใช้คัดเลือกตัวแปรทำนาย ได้แก่ วิธี All Possible Regression วิธี Backward Elimination วิธี Forward Selection และวิธี Stepwise Regression

นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรทำนายจากค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่สูงเกินความเป็นจริง (Variance Inflation Factors: *VIF*) ที่มีค่า ดังนี้

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

เมื่อ R_j^2 แทน ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coeficient of Determination) ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ที่ได้จากตัวแปรทำนาย X_j กับตัวแปรทำนายอื่น ๆ โดยพบว่า ถ้า

X_j มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรทำนายอื่น ๆ แล้ว ค่า R_j^2 จะมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งจะทำให้ VIF_j มีค่ามากด้วย ทั้งนี้ถ้า VIF_j มีค่ามากกว่า 10 จะถือว่าเกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ (Montgomery et al., 2006, p. 111)

วิธีสำหรับการปรับขนาดของส่วนเหลือ (Method for Scaling Residuals)

บางครั้งจำเป็นต้องมีการปรับขนาดของส่วนเหลือ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ค่านอกเกณฑ์ หรือค่าสุดขีดจากค่าสังเกตทั้งหมด ซึ่งส่วนเหลือที่ปรับขนาดแล้ว ได้แก่ การทำส่วนเหลือให้เป็นมาตรฐาน (Standardization Residual) ส่วนเหลือและค่ากึ่งของส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Residuals and Semistudentized Residual) ส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Studentized Residual) และส่วนเหลือที่ถูกกำจัด (Delete Residuals) โดยวิธีการปรับขนาดและเกณฑ์ในการพิจารณาค่านอกเกณฑ์ หรือค่าสุดขีดจากค่าสังเกตทั้งหมดนั้น จะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

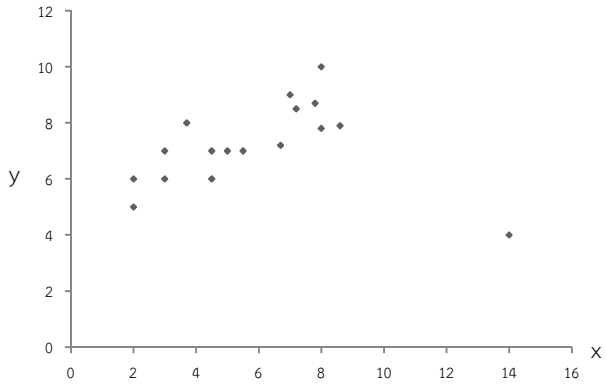
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ค่านอกเกณฑ์

เมื่อเกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้นกับค่าสังเกต จะมีผลทำให้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยมีความคลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็น ดังนั้นการวิเคราะห์ค่านอกเกณฑ์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ โดย Panik (2009, pp. 134-135) ได้จำแนกลักษณะของค่านอกเกณฑ์ไว้ดังนี้

1. ค่านอกเกณฑ์จากการถดถอย (Regression Outlier) เป็นความผิดปกติของค่าสังเกตที่พิจารณาได้จากตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ของค่าสังเกตบนแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ที่มีลักษณะกระจายห่างออกไปจากเส้นถดถอย (Regression Line) โดยพบว่า ถ้ามีจุดที่กระจายห่างออกไปจากเส้นถดถอยมากแล้วถือว่าจุดนั้นเป็นค่านอกเกณฑ์จากการถดถอย

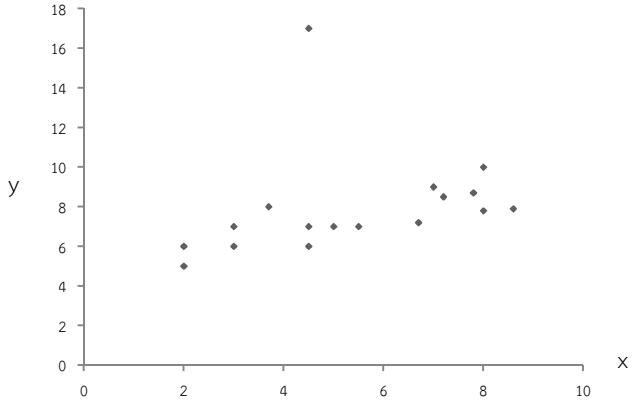
2. ค่านอกเกณฑ์จากส่วนเหลือ (Residual Outlier) เป็นความผิดปกติของค่าสังเกตที่ i ที่พิจารณาจากขนาดของส่วนเหลือมาตรฐาน หรือส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทั้งนี้ค่านอกเกณฑ์จากส่วนเหลืออาจจะไม่ใช่ค่านอกเกณฑ์จากการถดถอย หรือค่านอกเกณฑ์จากการถดถอยอาจไม่ได้มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของส่วนเหลือเสมอไป

3. ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย X (X-Outlier) เป็นความผิดปกติอันเนื่องจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย X มีค่าอยู่ภายนอกช่วงพิจารณา แต่ค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ Y มีค่าอยู่ภายในช่วงการพิจารณา ที่แสดงตามภาพที่ 2-4 ที่จุดกระจายห่างออกไปบนแนวแกน X จากกลุ่มของค่าสังเกตทั้งหมด ซึ่งค่านอกเกณฑ์นี้อาจจะเป็นค่านอกเกณฑ์ของการถดถอย และ/หรือ เป็นค่านอกเกณฑ์จากส่วนเหลือด้วย



ภาพที่ 2-4 ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย

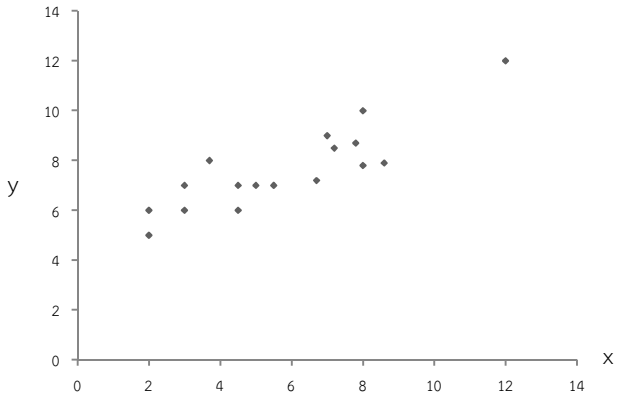
4. ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรเกณฑ์ *Y* (Y-Outlier) เป็นความผิดปกติเนื่องจากค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ *Y* ที่อยู่ภายนอกช่วงพิจารณา แต่ค่าสังเกตจากตัวแปรทำนาย *X* มีค่าอยู่ในช่วงการพิจารณาตามภาพที่ 2-5 ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะของจุดกระจายออกไปตามแนวแกน *Y* โดยค่านอกเกณฑ์นี้อาจเป็นค่านอกเกณฑ์ของการวิเคราะห์การถดถอย และ/หรือเป็นค่านอกเกณฑ์จากส่วนเหลือด้วย



ภาพที่ 2-5 ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรเกณฑ์

5. ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย *X* และตัวแปรเกณฑ์ *Y* เป็นความผิดปกติที่แสดงตามภาพที่ 2-6 ซึ่งแสดงลักษณะของจุดกระจายออกไปตามแนวแกน *X* และแกน *Y* แต่อยู่ในแนวเดียวกับเส้นถดถอย ดังนั้นความผิดปกติของค่าสังเกตนี้จึงไม่มีผลต่อเส้นถดถอย หรือไม่ทำให้เกิดค่านอกเกณฑ์จากส่วนเหลือ หรือค่านอกเกณฑ์ของการวิเคราะห์การถดถอยอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งขนาด

อิทธิพลของความผิดปกติที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดบนเส้นถดถอยว่าอยู่ห่างจากกลุ่มของจุดทั้งหมดมากน้อยเพียงใด

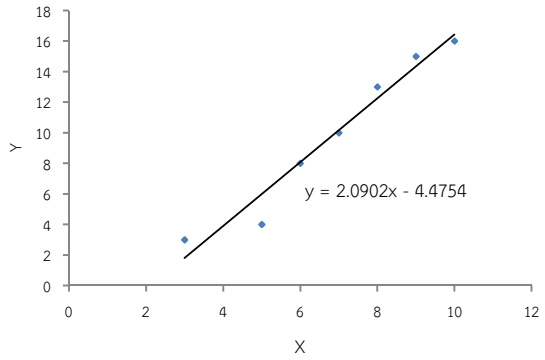


ภาพที่ 2-6 ค่านอกเกณฑ์ที่เกิดจากค่าของตัวแปรทำนายและตัวแปรเกณฑ์

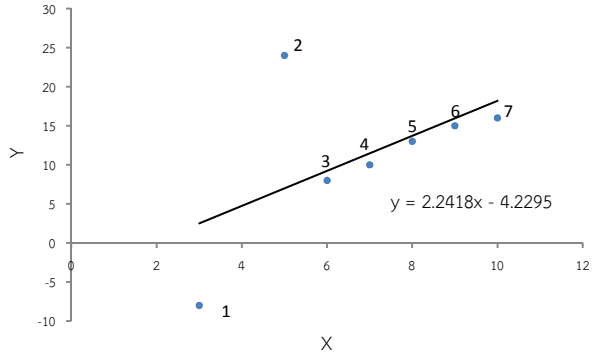
จุดที่เพิ่มขึ้น (Leverage Point)

จุดที่เพิ่มขึ้นคือ ความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรทำนาย แทนด้วยค่า $x_{k1},\ldots, x_{kp}$ จากค่าสังเกตทั้งหมด $x_{i1},\ldots, x_{ip}$ โดยที่ค่าสังเกตใด ๆ จะเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นสูง (High Leverage Point) หากอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลบนเส้นถดถอยมาก (Anderson, 2008, p. 30) แต่จุดที่เพิ่มขึ้นนี้ อาจจะเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นที่ดี (Good Leverage) ถ้าจุดนั้นไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นไม่ดี (Bad Leverage) ถ้าจุดนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแบบถดถอยที่ทำให้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยเปลี่ยนแปลงไปจากที่ควรจะเป็นมาก ซึ่งการพิจารณาว่าจุดใดเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นดีหรือไม่นั้น จะพิจารณาจากลักษณะของเส้นถดถอยที่เกิดขึ้นหลังจากตัดจุดที่เพิ่มขึ้นนี้ออกไป และหากจุดนี้เป็นจุดที่เพิ่มขึ้นไม่ดีลักษณะของเส้นถดถอยจะเอนเอียงไปจากเดิมมาก

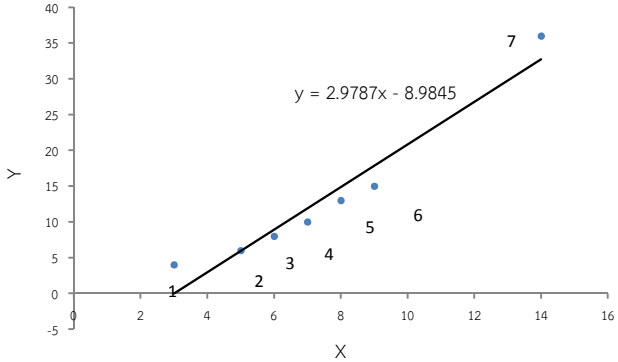
จากภาพที่ 2-7 ที่ไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น ลักษณะของจุดจะกระจายอยู่ในแนวเดียวกันทั้งหมด จึงสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาภาพที่ 2-8 พบว่า จุดที่ 2 อยู่ห่างจากเส้นถดถอยตามแนวแกน Y มาก จึงถือได้ว่าเป็นความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์และเป็นความผิดปกติจากการถดถอย เมื่อพิจารณาภาพที่ 2-9 พบว่า จุดที่ 7 เป็นตัวอย่างของจุดที่เพิ่มขึ้นที่ดีเพราะถึงแม้ว่าจะเป็นความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรทำนาย X แต่ตำแหน่งของจุดอยู่ในแนวเดียวกับเส้นถดถอย ส่วนภาพที่ 2-10 พบว่า จุดที่ 1 มีตำแหน่งอยู่ห่างจากเส้นถดถอยมาก จึงถือว่าเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นไม่ดีที่มีอิทธิพลต่อค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากที่ควรจะเป็นมาก



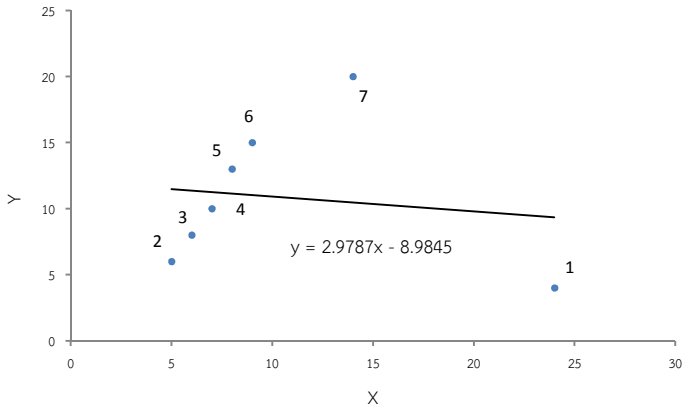
ภาพที่ 2-7 แผนภาพการกระจายและเส้นถดถอย กรณีไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น



ภาพที่ 2-8 แผนภาพการกระจายที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรเกณฑ์



ภาพที่ 2-9 แผนภาพการกระจายที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย



ภาพที่ 2-10 แผนภาพการกระจายแสดงจุดที่เพิ่มขึ้น

การตรวจสอบค่าสังเกต

1. การตรวจสอบความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรทำนาย $\underline{X}$ เป็นการตรวจสอบว่าค่าสังเกตนี้เป็นจุดอิทธิพลที่ดีหรือไม่ โดยพิจารณาจากเมทริกซ์แฮท (Hat Matrix) แทนด้วย $\underline{H}$ โดยที่ $\underline{H} = \underline{X}\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}'$ ที่มีสมาชิกในเมทริกซ์ $\underline{H}$ แสดงได้ ดังนี้

$$h_{ii} = \underline{X}_i'\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}_i$$

เมื่อ $\underline{X}_i'$ เป็นสมาชิกในแถวที่ i ของเมทริกซ์ $\underline{X}$ ที่มีสมาชิกดังนี้

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{(p-1)1} & & x_{(p-1)n} \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{X}_i' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{(p-1)1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{1n} & x_{2n} & & x_{(p-1)n} \end{bmatrix}$$

เมื่อ h_{ii} เป็นสมาชิกในแนวทะแยงมุมของเมทริกซ์แฮทมีสมบัติดังนี้

1. $0 \le h_{ii} \le 1$
2. $\sum_{i=1}^{n} h_{ii} = p$

เมทริกซ์แฮทเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้วัดระยะห่างระหว่างค่าสังเกตที่ i จากค่ากึ่งกลางบนแกน X เมื่อ h_i เป็นสมาชิกในแถวที่ i ซึ่งค่า h_i แทนอิทธิพลของค่าสังเกต ที่แสดงระยะห่างของตัวแปรทำนาย x_{ij} ว่าอยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยของ X เท่าใด ถ้าพบว่า h_i มีค่ามากแสดงว่า ค่าสังเกตนั้นมีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์การถดถอยมาก โดยค่าเฉลี่ยของสมาชิกทั้งหมดในเมทริกซ์แฮท แทนด้วย $\bar{h}$ มีค่า

เท่ากับ $\frac{p}{n}$ ดังนั้นถ้า h_i ที่มีค่ามากกว่า $\frac{2p}{n}$ แล้วแสดงว่า ค่าสังเกต x_{ij} นั้นเป็นค่านอกเกณฑ์ (Mircean, Shmulevich, & Cogdell, 2005, p. 197)

2. การตรวจสอบความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ Y เป็นการตรวจสอบความผิดปกติของค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ Y ที่พิจารณาร่วมกับเมทริกซ์แฮท โดยค่าสังเกตจากตัวแปรเกณฑ์ Y เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่นั้น พิจารณาได้จากค่าสถิติ ดังนี้

2.1 ส่วนเหลือมาตรฐานจากค่าสังเกตที่ i หรือ d_i คำนวณได้ ดังนี้

$$d_i = \frac{r_i}{\hat{\sigma}}$$

เมื่อ $\hat{\sigma}$ ประมาณได้จากค่า *MSE* หากพบว่า ค่า $d_i > 3$ แล้วแสดงว่า ค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์ (Montgomer, Peck, & Vining, 2003, p. 132)

2.2 ส่วนเหลือและค่ากึ่งของส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ r_i^* คำนวณได้ ดังนี้

$$r_i^* = \frac{r_i}{\sqrt{MSE}}$$

เมื่อ *MSE* คือ ค่าประมาณของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของส่วนเหลือ หรือ $\sigma^2\{r_i\}$ คำนวณได้จาก $\sigma^2\{r_i\} = \sigma^2\left(1-h_{ii}\right)$ หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\sigma^2\{r\} = \sigma^2\left(\underline{I} - \underline{H}\right)$$

เมื่อพิจารณาเมทริกซ์แฮทพบว่า ค่า *MSE* มีค่าเท่ากับผลรวมของสมาชิกในแนวทะแยงมุมของเมทริกซ์ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ถ้าค่า $r_i^* > 3$ แล้วค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์ (Montgomery et al., 2003, p. 133)

2.3 ส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SR*) Panik (2009, p. 136) วิธีนี้จะนำส่วนเหลือ r_i มาเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ $S(r_i)$ ของส่วนเหลือแสดงได้ดังนี้

$$S(r_i) = \sqrt{MSE\left(1-h_{ii}\right)}$$

เมื่อปรับส่วนเหลือด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะได้ส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

$$SR = \frac{r_i}{S(r_i)}$$

การพิจารณาว่าค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่นั้น พิจารณาจากค่าสัมบูรณ์ของ SR ดังนี้

ถ้า $|SR| = 0$ แล้วแสดงว่าค่าสังเกตจาก $\underline{Y}_i$ ไม่เป็นค่านอกเกณฑ์

ถ้า $|SR| > 2$ แล้วแสดงว่าค่าสังเกตจาก $\underline{Y}_i$ เป็นค่านอกเกณฑ์ เมื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก

ถ้า $|SR| > 3$ แล้วแสดงว่าค่าสังเกตจาก $\underline{Y}_i$ เป็นค่านอกเกณฑ์ เมื่อใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่

2.4 ส่วนเหลือที่ถูกกำจัด (Delete Residuals) เป็นการพิจาณาว่า ค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่จากอิทธิพลที่เกิดขึ้นภายหลังจากตัดค่าสังเกตที่ i ที่คาดว่าจะเป็นค่านอกเกฑ์นี้ออก โดยให้ $\underline{\hat{Y}}_{(i)}$ เป็นค่าสังเกตทั้งหมดภายหลังจากตัดค่าสังเกตที่ i ออก Panik (2009, p. 137) และถ้าให้ d_i เป็นผลต่างของค่า $\underline{Y}_i$ กับ $\underline{\hat{Y}}_{(i)}$ หรือ $d_i = \underline{Y}_i - \underline{\hat{Y}}_{(i)}$ แล้วสามารถคำนวณค่า d_i ได้จากเมทริกซ์แฮท ดังนี้

$$d_i = \frac{r_i}{1 - h_{ii}}$$

ถ้า $S^2\{d_i\}$ เป็นความแปรปรวนของ d_i แล้วสามารถคำนวณ $S^2\{d_i\}$ ได้ดังนี้

$$S^2\{d_i\} = \frac{MSE_{(i)}}{1-h_{ii}}$$

เมื่อ $MSE_{(i)}$ คือ ค่าประมาณของความแปรปรวนจากค่าสังเกตทั้งหมดเมื่อตัดค่าสังเกตที่ i ออก โดยค่า d_i จะมีการแจกแจงแบบสมมาตร หรือ $\frac{d_i}{s\{d_i\}} \sim t\left(n-p-1\right)$ ที่มี n เป็นค่าสังเกตทั้งหมด และ p แทนจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมด เมื่อได้ค่า d_i และทราบการแจกแจงของ d_i แล้วสามารถนำค่า d_i ไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ ในเทอมของ Y ได้ โดยการทำให้ d_i เป็นค่ามาตรฐาน (Standardize) ที่เรียกว่า ส่วนเหลือที่ถูกกำจัดที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standardize Delete Residuals) (Mircean, Shmulevich, & Cogdell, 2005, p. 198) ที่แสดงได้ ดังนี้

$$t_i = \frac{d_i}{s\{d_i\}}$$

เมื่อ t_i คือ ส่วนเหลือที่ถูกกำจัดที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ MSE และ $MSE_{(i)}$ ดังนี้

$$(n-p)MSE = (n-p-1)MSE_{(i)} + \frac{r_i^2}{1-h_{ii}}$$

โดย $MSE_{(i)}$ คือ ค่าประมาณของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ตัดค่าสังเกตที่ i ออก สามารถคำนวณค่า t_i ได้ดังนี้

$$t_i = r_i\left[\frac{n-p-1}{SSE(1-h_{ii})-r_i^2}\right]^{1/2}$$

เมื่อSSE คือ ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง การตรวจสอบค่านอกเกณฑ์จะใช้สถิติทดสอบ $|t_i|$ โดยวิธีของ Bonferroni ที่มีค่าวิกฤตเป็น $t_{1-\frac{\alpha}{2n},\, n-p-1}$

การศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

เมื่อมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นโดยที่ค่านอกเกณฑ์นั้นมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย การตัดค่าสังเกตที่ผิดปกตินี้ออกจะมีผลต่อค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อช่วยพิจารณาว่า ควรตัดค่าสังเกตที่ผิดปกตินี้ออกหรือไม่ ซึ่งสามารถจำแนกการศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์ได้ดังนี้

1. การศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากกราฟ

การศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากกราฟ เป็นการพิจารณาความผิดปกติจากลักษณะการกระจายของค่าสังเกตที่ถูกนำมาลงจุดบนกราฟ หรือแผนภาพที่มีหลักการพิจารณา ดังนี้

1.1 การพิจารณาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากแผนภาพการกระจาย เป็นการพิจารณาคู่ลำดับ x_{ji}, y_i ที่เป็นค่าสังเกตที่ i และ j เมื่อ $i=1, 2, \dots, n$ และ $j=1, 2, \dots, p$ ซึ่งจุดใดจะเป็นค่าสุดขีด (Extreme Values) ที่อาจจะเป็นค่านอกเกณฑ์ได้นั้น พิจารณาจากตำแหน่งของจุดที่อยู่ห่างออกไปจากกลุ่มของจุดส่วนใหญ่ว่ามีระยะห่างมากน้องเพียงใด

1.2 การพิจารณาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากแผนภาพกล่อง (Box Plot) โดยค่าสังเกตนั้นจะเป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่นั้น พิจารณาจากความยาวของหนวด (Whiskers) ซึ่งแผนภาพกล่องที่แสดงหนวดที่ยาวมากจะมีแนวโน้มที่มีค่าสังเกตเป็นค่านอกเกณฑ์ได้

1.3 การพิจารณาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากกราฟความน่าจะเป็นปรกติ (Normal Probability) จากส่วนเหลือ r_i เมื่อ $r_i = \underline{Y}_i - \underline{\hat{Y}}_{(i)}$ โดยที่ $i=1, 2, \dots, n$ และ $\underline{\hat{Y}}_{(i)}$ คำนวณได้จากค่า

สัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้นจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่มีสมการถดถอยเป็น $\underline{\hat{Y}}_{(i)} = \underline{X}_i'\underline{\hat{\beta}}$ มีค่า $\underline{X}_i' = \left(x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{ip}\right)'$ สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$ ซึ่งจะได้ลำดับของส่วนเหลือเป็น $r_{(1)} \le r_{(2)} \le \ldots \le r_{(n)}$ จากนั้นให้ทำการพล็อตส่วนเหลือนี้กับฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ที่ i หรือ p_i เมื่อ $p_i = \frac{\left(i - 0.5\right)}{n}$ ถ้าพบว่ามีจุดใดอยู่ห่างจากกราฟความน่าจะเป็นแบบปรกตินี้แล้ว แสดงว่าจุดนั้นอาจเป็นค่านอกเกณฑ์

1.4 กราฟของส่วนเหลือ (Residual Plot) เป็นการพิจารณาค่านอกเกณฑ์จากกราฟที่แสดงค่า $\underline{\hat{Y}}_{(i)}$ กับส่วนเหลือที่ i ซึ่งจะแสดงให้เห็นส่วนเหลือที่มีค่ามาก เมื่อค่าสังเกตใด ๆ นั้นเป็นค่านอกเกณฑ์

2. การศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากค่าสถิติทดสอบ

การศึกษาอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากค่าสถิติทดสอบเป็นการใช้ค่าสถิติเพื่อนำมาทดสอบว่า จุดที่พิจารณานั้นเป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่ โดยจะใช้ค่า MAD ของส่วนเหลือที่ i หรือ $MAD(r_i)$ ที่คำนวณได้ ดังนี้

$$MAD(r_i) = \frac{Median\left|r_i - Median\,(r_i)\right|}{0.6745}$$

นอกจากนี้ แรมเซย์ (Ramsay) ยังได้พัฒนาสถิติทดสอบจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แกร่ง (Robustness Standard Deviation: RSD) ขึ้น ในปี ค.ศ. 1977 ตามสมการที่ 2.17 และเจียซอง (Jiazhong) ยังได้พัฒนาสถิติทดสอบความเอนเอียงที่แกร่ง (Robust Bias: RB) ในปี ค.ศ. 1999 ตามสมการที่ 2.18

$$RSD\,(r_i) = 2.1\ Median\{|r_i|\} \tag{2.17}$$

$$RB\,(r_i) = Median\,|r_i| - r_i \tag{2.18}$$

คุ้ก (Cook) ได้นำเสนอวิธีการวัดขนาดอิทธิพลของค่าสังเกตขึ้นในปี ค.ศ. 1977 จากผลต่างของค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จากค่าสังเกตทั้งหมด n ค่ากับค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่าสังเกตที่เหลือภายหลังจากตัดค่าสังเกต i ที่ต้องการวัดอิทธิพลออก โดยค่าที่ใช้วัดขนาดอิทธิพลของค่าสังเกต i นี้เรียกว่า ระยะห่างกำลังสองของคุ้ก (Cook's Square Distance) แสดงตามสมการที่ 2.19

$$CD^2_{(i)} = \frac{\left(\underline{\hat{\beta}}_{(i)} - \underline{\hat{\beta}}\right)' \underline{X}' \underline{X} \left(\underline{\hat{\beta}}_{(i)} - \underline{\hat{\beta}}\right)}{p\hat{\sigma}^2} \quad (2.19)$$

ถ้าค่า $CD^2_{(i)} > 1$ แล้วแสดงว่าค่าสังเกตที่ i นี้มีอิทธิพลต่อ $\underline{\hat{Y}}_{(i)}$

แอนดริวส์ (Andrews) และเพรดิบอน (Predibon) ได้นำเสนอค่าสัดส่วนของตัวกำหนด (Determinant) ของแอนดริวส์และเพรดิบอน หรือ $AP(I)$ ในปี ค.ศ. 1978 ดังนี้

$$AP(I) = \frac{\det\left[\underline{Z}'(\underline{I})\underline{Z}(\underline{I})\right]}{\det\left[\underline{Z}'\underline{Z}\right]}$$

เมื่อ Z เป็นสมาชิกของเมทริกซ์ค่าสังเกต $\underline{X}$ ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปร $\underline{Y}_i$ หรือ $Z = \{(x_{11},...,x_{1p},y_1),(x_{21},...,x_{2p},y_2),...,(x_{n1},...,x_{np},y_n)\}$ และ $Z(I)$ เป็นเซตย่อยของ $\underline{Z}$ ที่ได้มาโดยการตัดแถวที่ i ที่คาดว่าจะมีค่านอกเกณฑ์อยู่ออกไปจากค่าสังเกตทั้งหมด

เบลสเลย์ (Belsley) คูธ (Kuh) และเวส (Welsch) ได้นำเสนอวิธีการวัดขนาดอิทธิพลของค่าสังเกตจากความแตกต่างมาตรฐานของเบต้า (Standardized Difference of the Beta: DFBETAS) ขึ้น ในปี ค.ศ.1980 ซึ่งเป็นการวัดว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\hat{\beta}}_{(j)}$ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด เมื่อตัดค่าสังเกตที่ i ออกจากค่าสังเกตทั้งหมดแสดงได้ตามสมการที่ 2.20

$$DFBETAS_{j,i} = \frac{c_{ji}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} c_{jk}^2}}\left(\frac{r_i}{\hat{\sigma}_i^2\left(1-h_{ii}\right)}\right) \quad (2.20)$$

เมื่อ h_{ii} เป็นสมาชิกของเมทริกซ์แฮท และ c_{ji} เป็นค่าที่ j ของ $\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}$ ถ้า $DFBETAS_{j,i}$ มีค่ามากแสดงว่าค่าสังเกตที่ i มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การถดถอย j มากด้วย และถ้า $DFBETAS_{j,i} > \frac{2}{\sqrt{n}}$ แสดงว่าค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์

นอกจากค่า $DFBETAS_{j,i}$ แล้วยังมีวิธีการวัดอิทธิพลจากค่าสังเกตที่ i อีก โดย รูสชิว (Rousseeuw) และเลรอย (Leroy) ได้พัฒนาสถิติทดสอบความแตกต่างของค่ามาตรฐานที่กำหนด (Difference in the Fitted Value Standardized: DFFITS) ในปี ค.ศ. 1987 จากสถิติทดสอบของเบลสเลย์ (Belsley) จากสมการที่ 2.20 โดยค่า $DFFITS_i$ นี้ใช้วัดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ i ที่มีต่อ $\underline{\hat{Y}}$ เมื่อตัดค่าสังเกตที่ i ออก แสดงได้ตามสมการที่ 2.21

การตรวจสอบอิทธิพลของค่าสังเกตจากค่า $DFFITS_i$ ที่จะวัดอิทธิพลของค่าสังเกต i ที่มีต่อ $\underline{\hat{Y}}$ เมื่อตัดค่าสังเกตที่ i ออก คำนวณได้ตามสมการที่ 2.21

$$DFFITS_i = \frac{\hat{\underline{Y}}_i - \hat{\underline{Y}}_{i(i)}}{\sqrt{MSE_i h_{ii}}} \quad (2.21)$$

สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$DFFITS_i = r_i\left[\frac{n-p-1}{SSE(1-h_{ii})-r_i^2}\right]^{1/2}\left(\frac{h_{ii}}{1-h_{ii}}\right)^{1/2}$$

$$= t_i\left(\frac{h_{ii}}{1-h_{ii}}\right)^{1/2}$$

เมื่อ $\hat{\underline{Y}}_{j(i)}$ คือค่าพยากรณ์ของ $\underline{Y}$ ในค่าสังเกตที่ j ที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยการตัดค่าสังเกตที่ i ออก และ MSE_i คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ตัดค่าสังเกตที่ i ออก โดยเกณฑ์การพิจารณาว่าค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่นั้น จะพิจารณาจากค่า $|DFFITS|_i$ ถ้าพบว่า $|DFFITS|_i$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าข้อมูลที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์ แต่เงื่อนไขนี้ใช้ตรวจสอบเฉพาะค่าสังเกตขนาดเล็กและขนาดกลางเท่านั้น ส่วนค่าสังเกตขนาดใหญ่จะพิจารณาจาก $|DFFITS|_i > 2\sqrt{p/n}$

แอทคินสัน (Atkinson) ได้พัฒนาสถิติทดสอบจากระยะห่างกำลังสองของคุ้กในปี ค.ศ. 1985 ตามสมการที่ 2.22

$$A_i = DFFITS_i\left[(n-p)/n\right]^{1/2} \quad (2.22)$$

หากพบว่า $A_i > 2\sqrt{(n-p)/n}$ แสดงว่าค่าสังเกตที่ i นี้เป็นค่านอกเกณฑ์

นอกจากนี้ รูสชิว (Rousseeuw) และเลรอย (Leroy) ยังได้พัฒนาวิธีการวัดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ i จากระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) หรือ MD_i ขึ้นในปี ค.ศ. 1987 ที่คำนวณได้ตามสมการที่ 2.23

$$MD_i = \sqrt{(\mu_i - \bar{\mu})\sigma^2(\mu_i - \bar{\mu})'} = \sqrt{(n-1)\left[h_{ii} - 1/n\right]} \quad (2.23)$$

เมื่อ $\bar{\mu} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}\mu_i\right)$, $i = 1, 2, \ldots, n$ และ $\sigma^2 = \frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(\mu_i - \bar{\mu})'(\mu_i - \bar{\mu})$ หากพบว่า $MD_i^2 > \chi^2_{p+1,0.95}$ แสดงว่าค่าสังเกตที่ i เป็นค่านอกเกณฑ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่มีองศาเสรีเท่ากับ $p+1$

เพนา (Pena) และโยไฮ (Yohai) ในปี ค.ศ.1995 ได้นำเสนอขั้นตอนการหาจุดแบ่งข้อมูล (*R*) ภายใต้ค่าไอเก้นเวกเตอร์ (Eigenvectors) ที่จัดเรียงตามลำดับจากค่าเมทริกซ์เพียงพอ (Influence Matrix) ดังนี้

$$R = \frac{EDHDE}{p\hat{\sigma}^2}$$

เมื่อ E เป็นเมทริกซ์ของส่วนเหลือที่มาจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด $\underline{D}$ เป็นเมทริกซ์ที่มีสมาชิกเป็น $\left(1 - h_{ii}\right)^{-1}$ และ $\hat{\sigma}^2$ ประมาณขึ้นจากค่า *MSE* ถ้าสัดส่วนนี้มีค่าเกินกว่า 2.5 แสดงว่าค่าสังเกตที่อยู่ก่อนจุดแบ่งข้อมูลนี้มีโอกาสเป็นค่านอกเกณฑ์

นอกจากนี้ยังมีสถิติทดสอบ *COVRATIO* ที่จะวัดการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวกำหนด (Determinant) ในเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ที่ประมาณขึ้นจากการตัดค่าสังเกตที่ i ออกจากค่าสังเกตทั้งหมดที่แสดงเป็นค่าสัดส่วนได้ตามสมการที่ 2.24

$$COVRATIO = \frac{\det\left(\hat{\sigma}^2_{(i)}\left(\underline{X}_i'\underline{X}_i\right)^{-1}\right)}{\det\left(\hat{\sigma}^2\left(\underline{X}_i'\underline{X}_i\right)^{-1}\right)} \qquad (2.24)$$

เมื่อ $\hat{\sigma}^2$ประมาณได้จากค่า *MSE* ส่วน $\hat{\sigma}^2_{(i)}$ สามารถประมาณได้จากค่า *MSE* ที่ตัดค่าสังเกตที่ i ออก ถ้าพบว่า$COVRATIO_i > 1 + (3p/n)$ หรือ $COVRATIO_i < 1-(3p/n)$ แสดงว่า ค่าสังเกตที่ i มีโอกาสเป็นค่านอกเกณฑ์ โดยที่ p แทนจำนวนพารามิเตอร์ และ n แทนค่าสังเกตทั้งหมด

สวอลลอฟ (Swollow) และไคนิฟาร์ด (Kianifard) ในปี ค.ศ. 1996 ได้นำเสนอขั้นตอนการหาส่วนเหลือมาตรฐาน ที่ใช้สร้างสถิติทดสอบค่านอกเกณฑ์ของค่าสังเกตจำนวน n ค่า ซึ่งขั้นตอนแรกจะหาขนาดของส่วนเหลือที่ปรับด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่เริ่มต้นคำนวณจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จากนั้นจะคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก W_j ดังนี้

$$W_j = \frac{\underline{Y}_i - \underline{X}'\underline{\hat{\beta}}_{j-1}}{\left(1 + \underline{X}_j'\left(\underline{X}_{j-1}'\,\underline{X}_{j-1}\right)^{-1}\underline{X}_j\right)^{1/2}} \qquad (2.25)$$

เมื่อ $j = p + 1, \ldots, n$ ซึ่ง $\underline{\hat{\beta}}_{j-1}$ เป็นเวกเตอร์ของค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\beta}$ ที่เป็นเวกเตอร์ขนาด j-1 และ $\underline{X}_{j-1}$ เป็นเมทริกซ์ย่อยของตัวแปรทำนายในเวกเตอร์ $\underline{\hat{\beta}}_{j-1}$ โดยที่ค่า

เบี่ยงเบนของมัธยฐานสัมบูรณ์ของค่าประมาณของพารามิเตอร์กำหนดสเกล $\hat{\sigma}$ มีค่าเท่ากับ $\left\{\left|r_i - median\{r_i\}\right|\right\}$ ซึ่งค่าสถิติทดสอบ $\left|\frac{W_i}{\hat{\sigma}}\right|$ จะแสดงว่า ค่าสังเกตที่เลือกมาทดสอบแต่ละชุดนั้นจะเป็นจุดที่แบ่งแยกข้อมูลทั้งหมดจากค่านอกเกณฑ์

ตอนที่ 3 วิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยที่สุดภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม

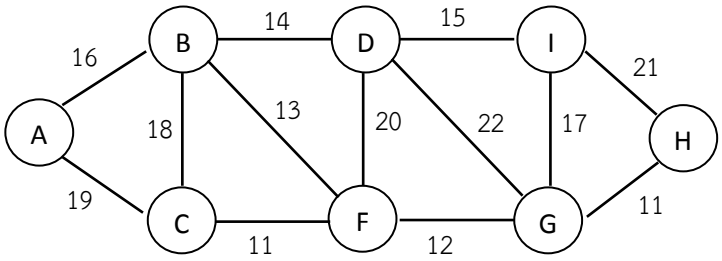
ถ้าให้กราฟ *G* เป็นกราฟต่อเนื่องที่ไม่ระบุทิศทาง ที่มี *V* เป็นเซตของโหนด (Node) หรือเป็นค่าพิกัดจุดใด ๆ บนกราฟ *G* ที่มี *E* เป็นค่าขอบ (Edges) ซึ่งเป็นเซตของระยะห่างระหว่างโหนด 2 โหนดใด ๆ และให้ $w(u,v)$ เป็นค่าน้ำหนักระหว่างโหนด *u* และ *v* ภายใต้ขอบ *E* ซึ่ง $(u, v) \in E$ ค่าต้นไม้ (Tree) แบบทอดข้าม (Spanning Tree) คือกราฟย่อย (Subgraph) ที่ไม่เป็นวัฏจักร (Acyclic) ประกอบด้วยจุดทั้งหมดของกราฟ *G* โดยวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree: MST) ของค่าน้ำหนักกราฟคือ ค่าจุดและขอบทั้งหมดของกราฟ *G* ที่ให้ค่าผลรวมของน้ำหนักที่มีค่าน้อยที่สุด (Johnsonbaugh, 2009, p. 462; Peter, 2010, p. 37; Karthikeyan & John, 2011, p. 2; Chidambaranathan & John, 2011, p. 608; Peter, 2014, p. 261) โดยค่าน้ำหนักแทนด้วยระยะห่างระหว่างโหนดหรือจุดสองจุดใด ๆ ที่อาจจะเป็นระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) หรือ ระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) (Krischetein, Liebscher & Becker, 2013, p. 178)

ขั้นตอนวิธีต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุดแบ่งเป็น ขั้นตอนวิธีของครูสกาวล์ (Kruskal) และขั้นตอนและวิธีการของพริม (Prim) ในการศึกษานี้จะใช้วิธีขั้นตอนและวิธีการของพริม

ขั้นตอนและวิธีการของพริม

แนวคิดขั้นตอนและวิธีการของพริม เป็นการหาต้นไม้แบบทอดข้ามที่น้อยที่สุด ที่จะพิจารณาแต่ละโหนดเพื่อค้นหาขอบที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด และนำมาเชื่อมต่อเป็นต้นไม้แบบทอดข้าม แต่จะต้องไม่ทำให้เกิดวัฏจักร โดยด้านที่ไม่ถูกนำมาเชื่อมต่อเป็นต้นไม้แบบทอดข้ามจะยังคงถูกเก็บในคิวจัดลำดับ (Priority Queue) เพื่อใช้ในการพิจารณาครั้งต่อไป สามารถพิจารณาตัวอย่างการคำนวณวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยที่สุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริมได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง วิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยที่สุดจากขั้นตอนและวิธีการของพริม จากกราฟ *G*

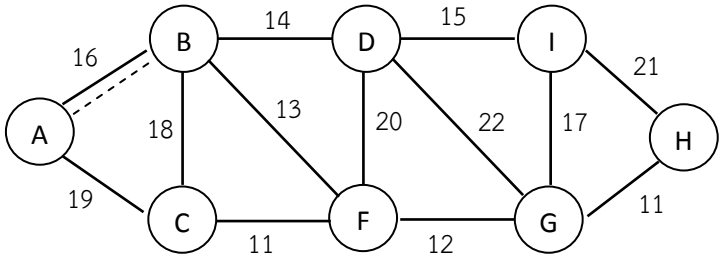


ขั้นตอนที่ 1 เลือกจุดเริ่มต้นซึ่งในที่นี้ให้จุด *A* เป็นจุดเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด A ดังนี้

Edge	Weight
(A,B)	16
(A,C)	19

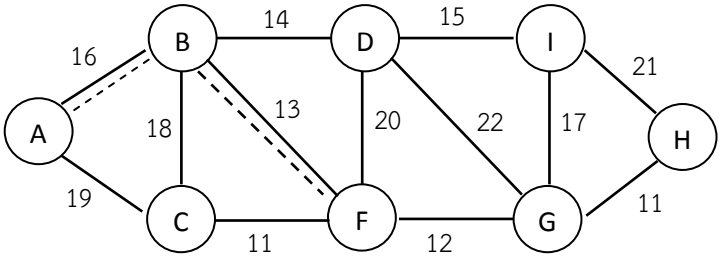
เลือกขอบ (A,B) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด A และจุด B เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในรอบแรก

Edge	Weight
(B,F)	13
(B,D)	14
(B,C)	18
(A,C)	19

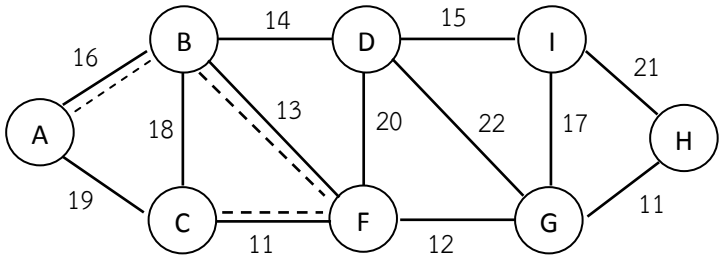
เลือกขอบ (B,F) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด A จุด B และ จุด F เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 3

Edge	Weight
(B,D)	14
(B,C)	18
(A,C)	19
(F,D)	20
(F,G)	12
(F,C)	11

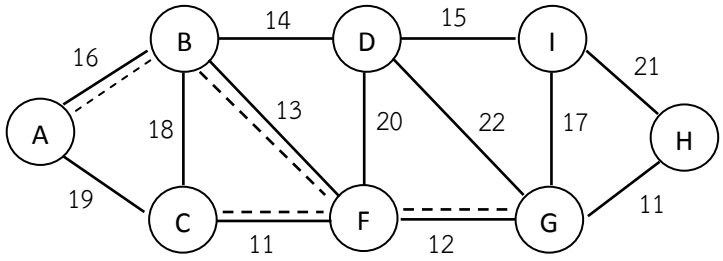
เลือกขอบ (F,C) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด A จุด B จุด F และจุด C เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 4

Edge	Weight	หมายเหตุ
(B,D)	14	
(B,C)	18	ไม่สามารถเลือกได้เพราะจะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร
(A,C)	19	ไม่สามารถเลือกได้เพราะจะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร
(F,D)	20	
(F,G)	12	

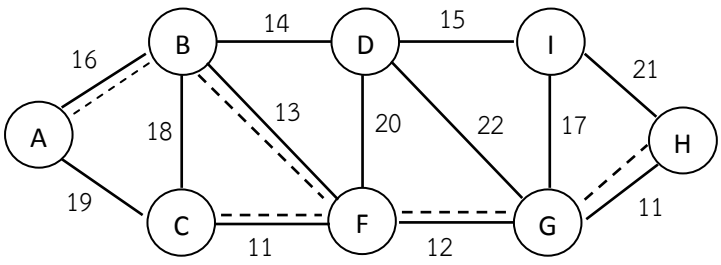
เนื่องจากไม่สามารถเลือกขอบ (B,C) และ (A,C) ได้เพราะจะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร ดังนั้นจึงเลือกขอบ (F,G)



ขั้นตอนที่ 6 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด B จุด F และจุด G เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 5

Edge	Weight
(B,D)	14
(F,D)	20
(G,D)	22
(G,I)	17
(G,H)	11

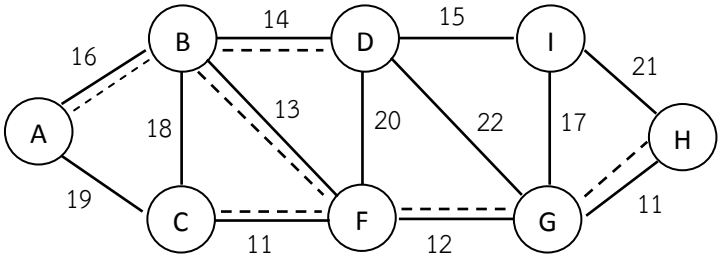
เลือกขอบ (G,H) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด B จุด F จุด G และจุด H เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 6

Edge	Weight
(B,D)	14
(F,D)	20
(G,D)	22
(G,I)	17
(H,I)	21

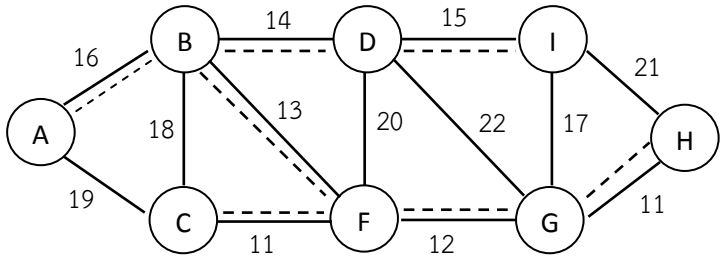
เลือกขอบ (B,D) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



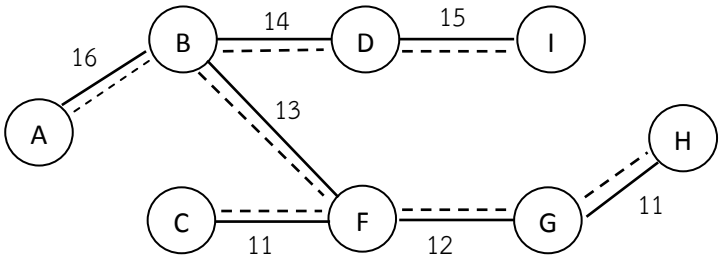
ขั้นตอนที่ 8 พิจารณาค่าขอบหรือน้ำหนักที่อยู่ต่อจากจุด D จุด F จุด G และจุด H เนื่องจากเป็นจุดปลายที่ถูกคัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 7

Edge	Weight	หมายเหตุ
(F,D)	20	ไม่สามารถเลือกได้เพราะ จะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร
(G,D)	22	ไม่สามารถเลือกได้เพราะ จะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร
(G,I)	17	ไม่สามารถเลือกได้เพราะ จะทำให้กราฟนี้เป็นวัฏจักร
(H,I)	21	
(D,I)	15	

เลือกขอบ (D,I) เพราะมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด



เนื่องจากต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุดจะต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นจึงไม่สามารถหาขอบที่น้อยที่สุดได้อีกแล้ว จึงได้ต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ที่มีผลรวมของน้ำหนักเป็น 92 ดังนี้



ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนที่จะกล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง (Robust Regression) จะขอกล่าวถึงวิธีการที่แกร่ง (Robust Method) และตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่แกร่ง (Robust Estimator) ดังนี้

วิธีการที่แกร่ง

วิธีการที่แกร่งเป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่ง ที่นำมาใช้เมื่อมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกต โดยความผิดปกตินี้ มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์บอกตำแหน่งและพารามิเตอร์บอกสเกล หรือค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ตามลำดับ สำหรับตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีความแกร่งหมายถึง ตัวประมาณค่าที่ไม่มีความไว (Sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภายใต้การแจกแจงต่าง ๆ (Simonoff, 1984, p. 815; Lax, 1985, p. 738) โดยปกติการวัดความแกร่งของตัวประมาณค่าพิจารณาได้ดังนี้

1. ฟังก์ชันเพียงพอ (Influence Function: IF) หรือเส้นโค้งเพียงพอ (Influence Curve) เป็นฟังก์ชันที่แสดงผลกระทบของค่านอกเกณฑ์ ที่มีต่อตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย แฮมเพล (Hampel) ในปี ค.ศ. 1974 หากกำหนดสถิติ T มีการแจกแจงแบบ F หรือ $T = T(F)$ และสถิติ T_n ที่มีการแจกแจงแบบ F_n หรือแทนด้วย $T_n = T(F_n)$ เมื่อ n เป็นขนาดของตัวอย่าง และถ้า F_ε เป็นฟังก์ชันการแจกแจงของสิ่งปนเปื้อน (Contamination) ที่มีระดับความปนเปื้อน ε จะ

ได้ว่า $F_\varepsilon = \left(1-\varepsilon\right)F + \varepsilon\,\delta_X$ เมื่อ δ_X แทนความน่าจะเป็นมวลจุด (Point Mass Probability) ของ X และเมื่อพิจารณาฟังก์ชัน $T(F)$ กับฟังก์ชัน $T(F_\varepsilon)$ จะได้ว่า

$T(F_\varepsilon) \longrightarrow T(F)$ เมื่อ $\varepsilon \longrightarrow 0$ ซึ่งจะได้ฟังก์ชันเพียงพอดังนี้

$$\mathrm{IF}(X;T,F) = \lim_{\varepsilon\to 0}\frac{T\left((1-\varepsilon)F+\varepsilon\,\delta_X\right)-T(F)}{\varepsilon}$$

$$= \frac{d}{d\varepsilon}T\left(\left(1-\varepsilon\right)F+\varepsilon\,\delta_X\right)\Big|_{\varepsilon=0}$$

โดยที่ T แทนฟังก์ชันของตัวประมาณค่า T_n

$T(\mathrm{F})$ แทนฟังก์ชันการแจกแจงที่ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง

$T(F_\varepsilon)$ แทนฟังก์ชันการแจกแจงที่ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างที่มีระดับการปนเปื้อน ε

δ_X แทนความน่าจะเป็นมวลจุด โดยที่ $\delta_X = \begin{cases} 0 \;;\; \forall_X < 0 \\ 1 \;;\; \forall_X \geq 0 \end{cases}$

ε แทนระดับความปนเปื้อน โดยที่ $0 < \varepsilon < 1$

เมื่อ $T(F_\varepsilon) \equiv \left(1-\varepsilon\right)F + \varepsilon\,\delta_X$ สามารถหาฟังก์ชันเพียงพอของตัวประมาณค่า T ได้ดังนี้

$$\mathrm{IF}(X;T,F) = \lim_{\varepsilon\to 0}\frac{T(F_\varepsilon)-T(F)}{\varepsilon} = \frac{d}{d\varepsilon}\,T(F_\varepsilon)\Big|_{\varepsilon=0}$$

สำหรับตัวอย่างของการหาฟังก์ชันเพียงพอสำหรับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่าง การหาฟังก์ชันเพียงพอของค่าเฉลี่ย

จาก $T(F) = E_F[X] = \int X\,dF(X) = \mu$

จะได้ $T(F_\varepsilon) = E_{F_\varepsilon}[X] = \left(1-\varepsilon\right)E_F[X] + \varepsilon\,E(\delta_X) = \left(1-\varepsilon\right)T(F)+\varepsilon X$

ดังนั้น $\mathrm{IF}(X;T,F) = \lim_{\varepsilon\to 0}\frac{\left(1-\varepsilon\right)T(F)+\varepsilon X - T(F)}{\varepsilon} = X - T(F) = X-\mu$

ตัวอย่าง การหาฟังก์ชันเพียงพอของค่าความแปรปรวน

จาก $T(F) = V_F[X] = \int \left(X-\mu\right)^2 dF(X) = \sigma^2$

จะได้ $T(F_\varepsilon) = V_{F_\varepsilon}[X] = \left(1-\varepsilon\right) V_F[X] + \varepsilon V(\delta_X)$

$$= \left(1-\varepsilon\right)\sigma^2 + \varepsilon E\left[X-\mu\right]^2$$

$$= \left(1-\varepsilon\right)\sigma^2 + \varepsilon\left(X-\mu\right)^2$$

ดังนั้น $\mathrm{IF}(X;T,F) = \lim_{\varepsilon\to 0}\frac{\left(1-\varepsilon\right)\sigma^2 + \varepsilon\left(X-\mu\right)^2 - T(F)}{\varepsilon}$

$$= \left(X-\mu\right)^2 - T(F)$$

$$= \left(X-\mu\right)^2 - \sigma^2$$

ตัวอย่าง การหาฟังก์ชันเพียงพอของค่ามัธยฐาน

จาก $T(F) = F^{-1}(p)$ เมื่อ $p = \frac{1}{2}$

ดังนั้น $\mathrm{IF}(X;T,F) = \frac{sign(X)}{2f(0)} = sign(X)\sqrt{2\pi}$

2. จุดแบ่งข้อมูล (Breakdown Point: BDP) คือ ค่าที่ใช้วัดความต้านทาน (Resistance) ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ โดย Rousseeuw and Leroy (1987, pp. 9-10) และ Anderson (2008, pp. 7-8) ได้ให้ความหมายของจุดแบ่งข้อมูลคือ สัดส่วนของข้อมูลหรือค่าสังเกตที่น้อยที่สุดหรือร้อยละค่านอกเกณฑ์ของค่าสังเกตที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ Breakdown หรืออาจกล่าวได้ว่าจุดแบ่งข้อมูลคือ ค่าสังเกตที่มีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์การถดถอย ทำให้ไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระยะยาว แต่จะแสดงเพียงความสัมพันธ์ที่ไม่แท้จริงเท่านั้น โดยค่า *BDP* ที่ประกอบด้วยค่า T ที่แทนตัวประมาณค่า และค่า Z ประกอบด้วยค่าสังเกตจำนวน n ค่ามีค่าตั้งแต่ Z_1 ถึง Z_n แทนด้วย $T_n(Z_1,Z_2,\ldots,Z_n) = T(Z)$ และถ้าให้ Z' มีค่าสังเกตจำนวน m ค่ามีค่าตั้งแต่ Y_1 ถึง Y_m ที่มีตัวประมาณค่าคือ $T_m(Y_1,Y_2,\ldots,Y_m) = T\left(Z'\right)$ ดังนั้นจะได้ค่าอิทธิพลที่มากที่สุดที่มีต่อค่าประมาณของพารามิเตอร์ ดังนี้

$$\mathrm{effect}(m;T,Z) = \sup_{Z'}\left\| T\left(Z'\right) - T(Z)\right\| \qquad (2.26)$$

ค่า effect($m; T, Z$) ในสมการที่ 2.26 เป็นอิทธิพลที่มากที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ T ในค่านอกเกณฑ์ขนาด m ซึ่งจะได้ *BDP* ของ T จากชุดข้อมูลขนาด Z ดังนี้

$$\text{BDP}(T,Z) = min\left\{ \frac{m}{n} ; \text{effect}(m; T, Z)\right\}$$

นอกจากนี้ยังอาจกล่าวได้อีกอย่างว่าค่า BDP คือสัดส่วนที่น้อยที่สุดของค่าสังเกตที่ผิดปกติจากค่าพารามิเตอร์ T ทั้งนี้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะเป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อมี BDP = $1/n$ ซึ่งถ้า n มีค่ามากจะทำให้ค่า BDP เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเป็นการประมาณค่าที่มีสัดส่วนของ BDP เท่ากับ 0% โดยฮูเบอร์ ในปี ค.ศ.1964 ได้กล่าวถึงค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของจุดแบ่งข้อมูลคือ 0.5 หรือ 50% สำหรับตัวประมาณค่าที่มีความแกร่ง และจุดแบ่งข้อมูลควรมีค่ามากกว่า 0.1 หรือ 10%

สมบัติของตัวประมาณค่า

สมบัติของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์บอกตำแหน่งและตัวประมาณค่าพารามิเตอร์กำหนดสเกลคือ สมบัติ Equivariance ที่แสดงว่าตัวประมาณค่าพารามิเตอร์นี้จะสามารถแปลงค่า (Transform) ได้ โดย Rousseeuw and Leroy (2003, p. 116) ได้อธิบายถึงสมบัติ Equivariance ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์บอกตำแหน่งที่สำคัญ 3 ข้อ ดังนี้

1. สมบัติความเป็น Regression Equivariance โดยค่าพารามิเตอร์ T จะมีสมบัติ Equivariance ที่แสดงได้ดังนี้

$$T\left[\left(\underline{X}_i', \underline{Y}_i + \underline{X}_i' \underline{V}\right)\right] = T\left[\left(\underline{X}_i', \underline{Y}_i\right)\right] + \underline{V}$$

ความหมายของสมบัตินี้คือ ถ้าเพิ่มตัวแปรเกณฑ์ $\underline{Y}$ ในตัวแบบเส้นตรง หรือตัวแปรเกณฑ์ $\underline{Y}$ เปลี่ยนค่าเป็น $\underline{Y}_i + \underline{X}\ \underline{V}$ จะมีผลต่อเมทริกซ์ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ $\underline{\beta}$ หรือ $\underline{\hat{\beta}}$ ที่จะมีค่าเปลี่ยนเป็น $\underline{\hat{\beta}} + \underline{V}$ ซึ่งสมบัตินี้ใช้เมื่อต้องการศึกษาตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการถดถอย

2. สมบัติความเป็น Scale Equivariance โดยตัวประมาณค่าจะมีสมบัติ Scale Equivariance หมายความว่า ค่าประมาณที่ได้แต่ละค่าจะเป็นอิสระกันขึ้นอยู่กับหน่วยการวัดตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) ที่แสดงได้ดังนี้

$$T\left(\underline{X}_i', c\,\underline{Y}_i\right) = c\,T\left(\underline{X}_i', \underline{Y}_i\right)$$

ความหมายของสมบัตินี้คือ ถ้า $\underline{Y}$ เปลี่ยนเป็น $c\underline{Y}$ แล้ว $\underline{\hat{\beta}}$ เปลี่ยนเป็น $c\underline{\hat{\beta}}$

3. สมบัติ Affine Equivariance โดยค่าพารามิเตอร์ที่มีสมบัติ Affine Equivariance จะแสดงได้ดังนี้

$$T\left(\underline{X}_i^{'}A\,,\,\underline{Y}_i\right) \;=\; A^{-1}T\left(\underline{X}_i^{'}\,,\,\underline{Y}_i\right)$$

ความหมายของสมบัตินี้คือ สามารถแปลงตัวแปรทำนาย $\underline{X}$ เป็น $\underline{X}A$ เมื่อ A เป็นเมทริกซ์จัตุรัส แล้วจะได้ค่า $\underline{\hat{\beta}}$ เปลี่ยนเป็น $A^{-1}\underline{\hat{\beta}}$

ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่แกร่ง

ค่าพารามิเตอร์กำหนดสเกลที่แกร่งค่าหนึ่งคือ มัธยฐานส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Median Absolute Deviation: MAD) ที่คำนวณได้ดังนี้

$$MAD \;=\; b\,median_i\left|\, x_i \;-\, median_j\, x_j\,\right|$$

ค่า MAD ใช้ได้ดีภายใต้จุดแบ่งข้อมูล 50% ที่มี b เป็นค่าคงที่ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อไม่ให้ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์เกิดความเอนเอียง โดยจะมีค่าเท่ากับ 1.4826 ถ้าค่าสังเกตมีการแจกแจงปรกติ ทั้งนี้ค่า MAD ได้นำมาใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากวิธีประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด หรือวิธีตัวประมาณค่า M และวิธีตัวประมาณค่า S แต่ค่า MAD จะมีประสิทธิภาพประมาณ 37% เมื่อความคลาดเคลื่อนในตัวแบบถดถอยมีการแจกแจงปรกติ เพราะลักษณะการคำนวณจะเป็นการหาค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกตกับมัธยฐานของค่าสังเกตทั้งหมด หรือเป็นการคำนวณแบบสมมาตรที่ไม่เหมาะสมกับค่าสังเกตที่มีการแจกแจงปรกติ และการแจกแจงแบบที่มีลักษณะเบ้มาก ๆ

Rousseeuw and Croux (1993) และ Nakrani (2014) ได้แสดงให้เห็นว่า มีค่าสถิติ S_n และ Q_n ที่สามารถนำมาใช้แทนค่าMAD ได้ เพราะค่าสถิตินี้ไม่ได้มีลักษณะการคำนวณแบบสมมาตร และถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้มาก ๆ แล้วค่า S_n และ Q_nจะมีประสิทธิภาพมากกว่าค่า MAD โดยค่า S_n และ Q_n เป็นการคำนวณค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกตที่ถูกเลือกมาละคู่ โดย S_n คำนวณได้ ดังนี้

$$S_n \;=\; c\,median_i\left\{median_j\left|x_i - x_j\right|\right\}$$

เมื่อ $i\,,\,j = 1,\ldots,\,n$ และ c เป็นค่าคงที่ ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อไม่ให้ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์เกิดความเอนเอียง ขึ้นอยู่กับลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเช่นเดียวกับค่า b ของค่าสถิติ MAD ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1.1926 ถ้าข้อมูลการแจกแจงเป็นแบบเกาส์เซียน ทั้งนี้ S_n เป็นค่าสถิติที่นำมาใช้แทนค่า MAD ได้ เนื่องจากมีสมบัติ Affine Equivariance เหมือนกันคือ หากมีการแปลงค่าสังเกตจาก x_i เป็น $ax_i + b$ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ $|a|$ กับ S_n และใช้กับกรณีที่มีค่าจุดแบ่งข้อมูลเป็น 50%

เช่นเดียวกัน ซึ่งสำหรับชุดของค่าสังเกต $X = \{x_1 , x_2,...,x_n\}$ ค่าจุดแบ่งข้อมูลของ S_n หรือ ε_n^* ถูกกำหนดได้ ดังนี้

$$\varepsilon_n^*(S_n,X) \;=\; min\{\varepsilon_n^+(S_n,X)\;,\;\varepsilon_n^-(S_n,X)\;\}$$

เมื่อ $\varepsilon_n^+(S_n,X)=min\left\{\frac{m}{n}\;;sup_{X'}S_n(X')=\infty\right\}$ และ $\varepsilon_n^-(S_n,X)=min\left\{\frac{m}{n}\;;sup_{X'}S_n(X')=\infty\right\}$ และ X' เป็นชุดค่าสังเกตที่มีค่าสังเกตที่มีสิ่งเจือปนอยู่จำนวน m ค่า โดยที่จะเรียกค่า ε_n^+ และ ε_n^- ว่าจุดแบ่งข้อมูลแบบ Explosion และจุดแบ่งข้อมูลแบบ Implosion ตามลำดับ โดย $\varepsilon_n^+(S_n,X) = [(n+1)/2]/n$ และ $\varepsilon_n^-(S_n,X) = [n/2]/n$ ดังนั้นค่า S_n จึงรวมมีจุดแบ่งข้อมูล $\varepsilon_n^*(S_n,X)$ ดังนี้

$$\varepsilon_n^*(S_n,X) \;=\; \frac{\binom{n}{2}}{n} \;=\; \frac{1}{2} \;=\; 50\%$$

เมื่อฟังก์ชันเพียงพอของ S_n หรือ S แทนด้วย $IF(X;S,\Phi)$ โดย Φ เป็นสัญลักษณ์ที่แทนการแจกแจงปรกติของค่าสังเกตคำนวณได้ดังนี้

$$IF(X;S,\Phi) \;=\; c\{\frac{g'_\Phi(q)\,sgn\left(|x|-q\right)}{4\Phi(q)} + \frac{sgn\left(\left|q-x\right|-c^{-1}\right)+sgn\left(\left|-q-x\right|-c^{-1}\right)}{4\left(\Phi\left(q+c^{-1}\right)+\Phi\left(q-c^{-1}\right)\right)}\}$$

เมื่อ $q = \Phi^{-1}(3/4)$ โดยที่ g เป็นฟังก์ชัน Φ ของ q ซึ่งมีสมบัติ $g'_\Phi(q) = -g'_\Phi\left(-q\right)$ และสำหรับทุกค่า X จะได้ $g'_\Phi(q)$ ดังนี้

$$g'_\Phi(q) \;=\; \frac{\Phi\left(q-c^{-1}\right)-\Phi\left(q+c^{-1}\right)}{\Phi\left(q+c^{-1}\right)+\Phi\left(q-c^{-1}\right)}$$

สำหรับค่า Q_n เป็นค่าสถิติที่ใช้แนวคิดจากตัวประมาณค่าของ Shamos (1976, p. 260) และ Bickel and Lehmann (1979, p.38) ที่จะหาผลต่างระหว่างค่าสังเกตที่ถูกเลือกมาทีละคู่ จำนวน $\binom{n}{2}$ คู่ ดังนี้

$$Q_n \;=\; d\{\left|x_i - x_j\right|\;;\; i<j\}_k$$

เมื่อ d เป็นค่าคงที่ ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการแจกแจงของค่าสังเกต โดยถ้าค่าสังเกตมีการแจกแจงปรกติค่า d จะเท่ากับ 2.2219 และ $k = \binom{h}{2} \approx \binom{n}{2}/4$ โดยที่ $h \;=\; [n/2]+1$

ค่า Q_n เป็นสถิติที่นำมาใช้แทนค่า MAD ได้เช่นเดียวกับ S_n เนื่องจากมีสมบัติ Affine Equivariance และใช้กับกรณีที่มีค่าจุดแบ่งข้อมูลเป็น 50% เช่นเดียวกัน ซึ่งสำหรับค่าสังเกต $X = \{x_1 , x_2,...,x_n\}$ จุดแบ่งข้อมูลของ Q_n หรือ ε_n^* แสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon_n^*(Q_n, X) = min\{\varepsilon_n^+(Q_n, X), \varepsilon_n^-(Q_n, X)\}$$

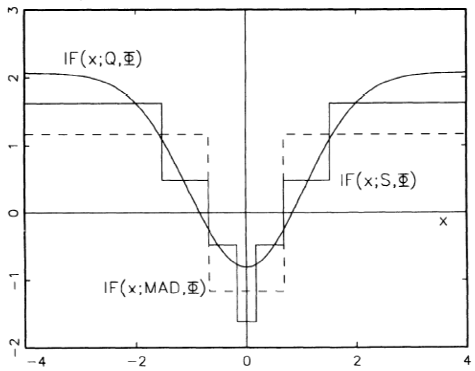
เมื่อ $\varepsilon_n^+(Q_n, X) = [(n+1)/2]/n$ และ $\varepsilon_n^-(Q_n, X) = [n/2]/n$ ดังนั้น Q_n จึงมีจุดแบ่งข้อมูลหรือ $\varepsilon_n^*(Q_n, X)$ มีค่าเท่ากับ 50% แสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon_n^*(Q_n, X) = \frac{\left(\frac{n}{2}\right)}{n} = \frac{1}{2} = 50\%$$

ค่าฟังก์ชันเพียงพอของ Q_n หรือ Q เมื่อค่าสังเกต X มีการแจกแจงปรกติแทนด้วย Φ หรือ $IF(X; Q, \Phi)$ แสดงได้ดังนี้

$$IF(X; Q, \Phi) = d\,\frac{\frac{1}{4} - \Phi\left(x + d^{-1}\right) + \Phi\left(x - d^{1}\right)}{\int \Phi\left(y + d^{1}\right)\Phi(y)\,dy}$$

Rousseeuw and Croux (1993, p. 1278) ได้แสดงกราฟของค่าฟังก์ชันเพียงพอของ S_n และ Q_n เปรียบเทียบกับค่า *MAD* ได้ตามภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ค่าฟังก์ชันเพียงพอของ S_n และ Q_n เปรียบเทียบกับค่า *MAD*

จากภาพที่ 2-11 จะพบว่า ฟังก์ชันเพียงพอของ S_n และ Q_n มีลักษณะเป็นขั้นและมีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะของตัวอักษร U มากกว่าฟังก์ชันเพียงพอของค่า *MAD* โดยจากลักษณะเช่นนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่า ค่า S_n และ Q_n มีประสิทธิภาพมากกว่าค่า *MAD* ซึ่งประสิทธิภาพของ S_n และ Q_n จะมีค่าเท่ากับ 58.23% และ 82% ในขณะที่ประสิทธิภาพของ *MAD* จะมีเพียง 36.74% ภายใต้ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงแบบเกาส์เซียน และจากตารางที่ 2-3 Rousseeuw and Croux (1993) ได้แสดงผลจากการจำลองสถานการณ์ 150 สถานการณ์ ที่มีจำนวนตัวอย่างแตกต่างกัน โดยให้ทำซ้ำกรณีละ 10,000 รอบ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวนที่ทำให้เป็นมาตรฐาน (Standardized Variance) ระหว่าง *MAD* กับ S_n และ Q_n พบว่าความแปรปรวนมาตรฐานของ S_n กับ Q_n มีค่าน้อยกว่า *MAD* ทุกกรณี โดยที่ความแปรปรวนมาตรฐานของ Q_n มีค่าน้อยกว่า S_n และมี

ค่าลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า Q_n มีประสิทธิภาพมากที่สุด และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือความแปรปรวนมาตรฐานลดลงหากตัวอย่างที่ใช้มีจำนวนมากขึ้น โดยแสดงค่าตามตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ผลการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนมาตรฐานของ *MAD*, S_n และ Q_n

n	*MAD*	S_n	Q_n
10	1.361	1.125	0.910
20	1.368	0.984	0.773
40	1.338	0.890	0.701
60	1.381	0.893	0.679
80	1.342	0.878	0.652
100	1.377	0.869	0.650
200	1.361	0.873	0.636
∞	1.361	0.857	0.608

การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง

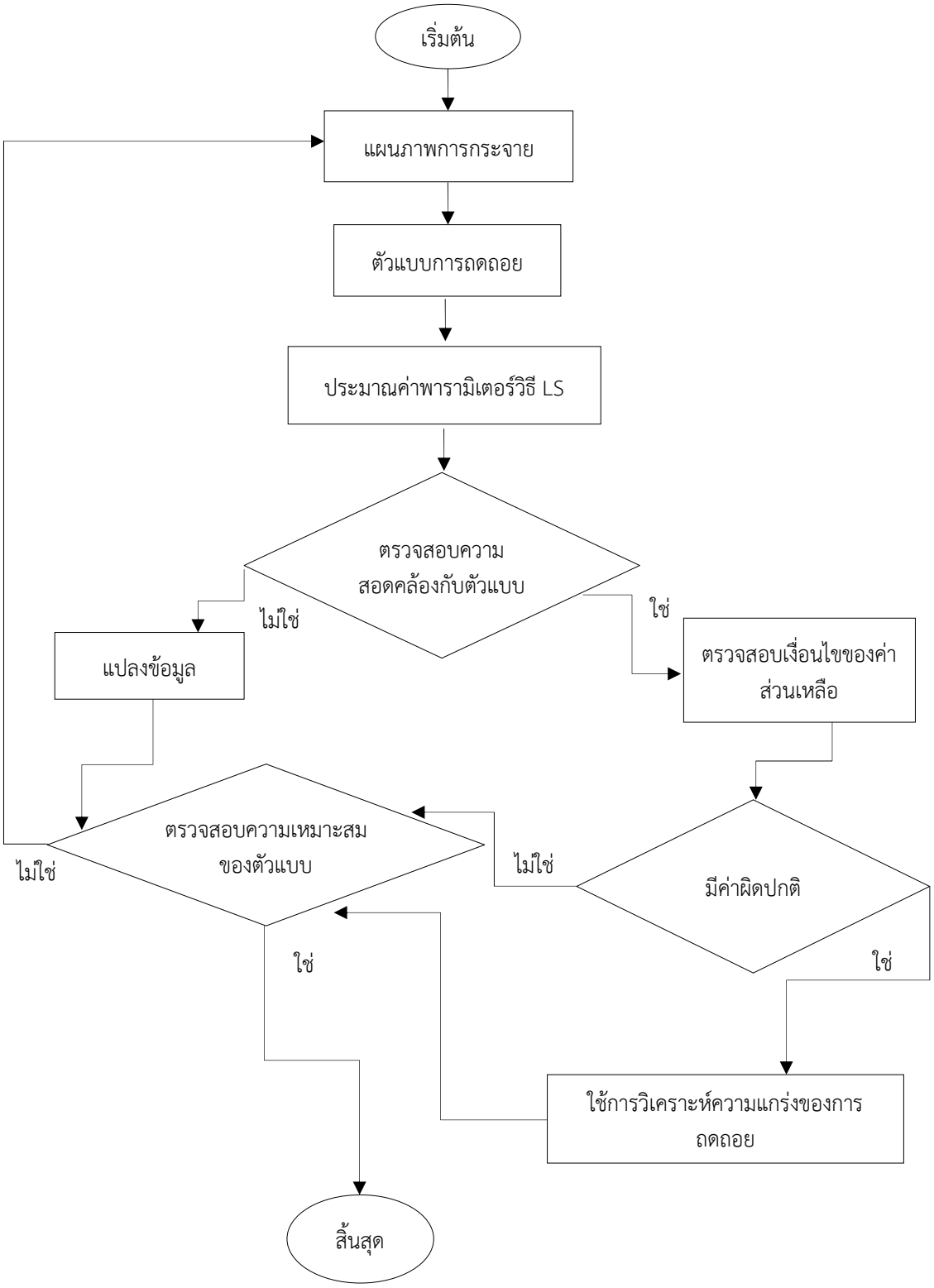
การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งเป็นวิธีการหนึ่ง ที่ใช้แทนวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อความคลาดเคลื่อนไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด (Marona, Martin, & Yohai, 2006, p. 699) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเพราะเกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้นกับค่าสังเกต โดยถ้าใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเมื่อข้อมูลเกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้นแล้วจะส่งผลให้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ ไม่ได้เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่แท้จริง (Tabatabai et al., 2012, p. 66) ทั้งนี้การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งได้นำมาใช้เมื่อมีการปนเปื้อน (Contamination) ขึ้นกับค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ (Flores, 2011, p. 1) โดยการกำหนดว่าควรใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งวิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า จุดแบ่งข้อมูล และจุดที่เพิ่มขึ้นมาก (Alma, 2011, p. 410)

ดังนั้นก่อนที่จะพิจารณาเลือกใช้การถดถอยที่มีความแกร่งมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา ต้องมีการดำเนินงานตามภาพที่ 2-12 โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์จากแผนภาพการกระจาย เมื่อพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์และตัวแปรทำนายเป็นเส้นตรง จะประมาณค่าสัมประสิทธิ์การ

ถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้องที่สุด จากนั้นจะตรวจสอบความสอดคล้องของค่าสังเกตกับตัวแบบเชิงเส้น โดยพิจารณาเงื่อนไขของความคลาดเคลื่อนตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์
2. ความคลาดเคลื่อน มีความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2
3. ความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน
4. ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ

การตรวจสอบเงื่อนไขของความคลาดเคลื่อนนี้ พิจารณาจากส่วนเหลือที่ต้องมีการแจกแจงปรกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนคงที่ และส่วนเหลือแต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน เช่นเดียวกันกับความคลาดเคลื่อน ซึ่งหากพบว่าส่วนเหลือนี้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข แสดงว่าเกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้น ซึ่งต้องใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งมาเป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแทนวิธีกำลังสองน้อยที่สุด แต่ถ้าพบว่าค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีความสอดคล้องกับตัวแบบจะต้องแปลงข้อมูล แล้วจึงตรวจสอบความสอดคล้องกับตัวแบบอีกครั้ง ซึ่งหากพบว่ายังไม่มีความสอดคล้องกับตัวแบบเชิงเส้น หรือความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไขต้องพิจารณาความสัมพันธ์ในลักษณะอื่นที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ต่อไป



ภาพที่ 2-12 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่ง

Zamana, Rousseeuwb, and Orhanc (2001) ได้นำการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งมาใช้งานทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การพยากรณ์ค่า GDP และอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนคนงาน (Growth per Worker) จากการเติบโตของแรงงาน (Labor Force Growth: LFG) ช่องว่าง (Gap) ระหว่าง GDP จำนวนเงินลงทุนแบบ Equipment และ non-equipment ของประเทศต่าง ๆ 61 ประเทศระหว่างปี ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ. 1985

Schumacker, Mohahan, and Mount (2002) ได้จำลองปัญหาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด วิธีกำลังสองตัดขอบน้อยที่สุด (Least Trimmed Square: LTS) และวิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุด (Minimum M-estimator) โดยใช้โปรแกรม S-PLUS พบว่า วิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่า ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติ

Chen and Meer (2003) ได้นำการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งมาใช้ในระบบการมองเห็นในคอมพิวเตอร์ จากวิธีตัวประมาณค่า M ร่วมกับปัญหา Projection Pursuit Optimization หรือ PBM-estimator

Preminger and Franck (2007) ได้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งในวิธี Robust Linear Autoregression (RAR) และ Robust Neural Network (RNN) ด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า S มาใช้ในการสร้างสมการพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนในช่วงเวลา 1, 3 และ 6 เดือน จากการเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายของวิธีการที่แกร่งจากตัวแบบ Random Work (RW) Standard Linear Autoregressive (AR) และ Neural Network (NN) พบว่า AR และวิธี NN มีแนวโน้มที่จะมีความสามารถในการทำนายมากกว่าเมื่อเป็นลักษณะการทำนายแบบ horizon

Pimpan and Prachoom (2010) ได้พัฒนาฟังก์ชันของส่วนเหลือใหม่เพื่อนำมาใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า M ภายใต้ค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนาย ตัวแปรเกณฑ์ และที่เกิดขึ้นจากตัวทำนายและตัวแปรเกณฑ์ ผลจากการจำลองปัญหา โดยเปรียบเทียบจากค่า *MSE* และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่เกิดขึ้นจากค่าถ่วงน้ำหนักจากฟังก์ชันของส่วนเหลือที่พัฒนาขึ้นจะให้ค่า *MSE* น้อยกว่าและให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดมากกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และวิธีตัวประมาณค่า M ทุกกรณี

Alma (2011) ได้จำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยที่สุด วิธีตัวประมาณค่า M วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุดพบว่า วิธีตัวประมาณค่า S มีประสิทธิภาพภายใต้ฟังก์ชันอิทธิพลจำกัดและมีค่าจุดเพิ่มขึ้นสูง และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นหากมีจุดเปลี่ยนข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 10% แต่วิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุดจะให้ประสิทธิภาพมากที่สุดในทุกเงื่อนไข แต่วิธีนี้จะมีปัญหาเมื่อมีจุดเพิ่มขึ้นมากในตัวอย่างขนาดเล็ก

Bondell and Stefanski (2013) ได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งซึ่งจากการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีตัวประมาณค่า S โดยใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี วิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุด จากวิธีตัวประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก (REweighted Least Squares Estimator: REWLS) ของ Gervini และ Yohai และ วิธี Exponential Tilting (ET) ผลการจำลองสถานการณ์ ด้วยขนาดตัวอย่าง (n) = 50 ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2, 5 และ 24 พบว่า ประสิทธิภาพของวิธีตัวประมาณค่า S โดยใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี วิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุดจากวิธี ET มีค่าเป็น 99.2%, 96.5% และ 93.8% และ REWLS มีค่าเป็น 82.7%, 66.4% และ 36.9% ตามลำดับ

Riani, Atkinson and Perrotta (2014) ได้เสนอแนวคิดจากลักษณะของความแกร่งที่มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างค่าสังเกตที่ได้จากสมการถดถอยกับค่านอกเกณฑ์ และได้นำเสนอค่าพารามิเตอร์ λ ที่เป็นส่วนหนึ่งในตัวแบบ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดฟังก์ชันของ λ ค่าความแปรปรวน และค่าเอนเอียงกำลังสอง (Square Bias) ของพารามิเตอร์ 5 ตัว เมื่อพิจารณาอำนาจของการตรวจจับค่านอกเกณฑ์ ทำให้ทราบสมบัติของตัวประมาณค่าที่แกร่ง ผลจากการจำลองปัญหาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุด วิธี LTS และวิธีตัวประมาณค่า S พบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) = 100 ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าวิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุด วิธี LTS และวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เป็น 6 ค่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 และ 0.25 เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เป็น 11 ค่าจะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 0.36 ถึง 0.81

Dehnel (2015) ได้นำการวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งวิธี LTS วิธีตัวประมาณค่า M วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า M ที่น้อยที่สุด มาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่นำมาสร้างสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์รายได้ที่เกิดขึ้นจากค่าขนส่งสินค้า ซึ่งจากการจำลองปัญหาพบว่า วิธี LTS ให้ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ดีที่สุด

Oller, Alfons, and Croux (2016) ได้ปรับแก้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกีและฮูเบอร์ ในวิธีตัวประมาณค่า S เพื่อนำมาใช้หาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีการ IRLS ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ที่ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนตัวแปรทำนายน้อยและมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 1, ร้อยละ 2, ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

Yohai and Marona (2017) ได้เปรียบเทียบวิธีตัวประมาณค่า τ (τ-estimator) วิธีตัวประมาณค่า MM (MM-estimator) และวิธีตัวประมาณค่า S ที่ได้ปรับใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือที่ไม่ได้เป็นแบบฟังก์ชันทางเดียว (Non-monotonic Function) มีลักษณะฟังก์ชันดังนี้

$$W(d)=\left[1-\left(\frac{d-1}{\gamma}\right)^2\right] \mathrm{I}\left(1-\gamma \leq d \leq 1+\gamma\right)$$

เมื่อ $\gamma = min\left(1, \frac{\chi^2_p(1-\alpha)}{p}-1\right)$ และ $\chi^2_p(\beta)$ เป็นควอร์ไทล์ที่ β ของการแจกแจงแบบไคกำลังสอง ที่มีองศาเสรีเท่ากับ p ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ที่ได้ปรับใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือที่ไม่ได้เป็นแบบฟังก์ชันทางเดียวมีประสิทธิภาพและมีความแกร่งเมื่อมีจำนวนตัวแปรทำนายไม่ต่ำกว่า 15 ตัวแปร และวิธีตัวประมาณค่า MM มีประสิทธิภาพและมีความแกร่งเมื่อมีจำนวนตัวแปรทำนายต่ำกว่า 15 ตัวแปร เมื่อมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50, 100, 200, 250, 400, 500 และ 1,000 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 และ 20

จากการวิจัยที่ผ่านมาปรากฏว่า มีแนวโน้มของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งวิธีต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกันตามขนาดตัวอย่าง จำนวนพารามิเตอร์ ค่าร้อยละของค่านอกเกณฑ์ ลักษณะของค่าสังเกตที่ผิดปกติ และลักษณะฟังก์ชันของส่วนเหลือ ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่จากวิธีการเดิม และยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าใหม่นี้ ที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ผู้วิจัยได้พยายามพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แกร่งจากวิธีตัวประมาณค่า S ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตอนที่ 5 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อพบว่าส่วนเหลือไม่เป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยมีสาเหตุจากความผิดปกติของค่าสังเกต หรือมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งค่านอกเกณฑ์นี้หากพบว่ามีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้น จะไม่สามารถใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแทนวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ที่จำแนกได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับจุดแบ่งข้อมูล หรือขนาดของฟังก์ชันเพียงพอ โดยการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่นิยมใช้วิธีหนึ่ง เมื่อมีจุดแบ่งข้อมูล 50% ที่พัฒนามาจากวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Method) หรือวิธีตัวประมาณค่า M

วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด หรือวิธีตัวประมาณค่า M เป็นวิธีประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ฮูเบอร์ เป็นผู้นำเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1964 ซึ่งเป็นการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยภายใต้ฟังก์ชันเพียงพอที่มีขอบเขตจำกัด ใช้หลักการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากฟังก์ชันของส่วนเหลือ (Residual Function) หรือ $\rho(r_i)$ ที่มีค่าน้อยที่สุด ตามสมการที่ 2.27 (Montgomery et al., 2006, pp. 373-374)

$$\text{Min}_{\underline{\beta}} \sum_{i=1}^{n} \rho(r_i) = \text{Min}_{\underline{\beta}} \sum_{i=1}^{n} \rho\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right) \qquad (2.27)$$

เมื่อ $\underline{X}_j^{'}$ แทนสมาชิกในแถวที่ i ของเมทริกซ์จากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย $\underline{X}$ โดย $\rho\,(r_i)$ เป็นฟังก์ชันของส่วนเหลือที่มีลักษณะสมมาตร นั่นคือ $\rho\,(r_i) = \rho\left(-r_i\right)$ และมีสมบัติอื่น ๆ โดย Koller and Stahel (2011) ได้รวบรวมไว้ดังนี้

1. ค่า$\rho\,(r_i)$ มีขอบเขตจำกัด
2. ค่า $\rho\,(r_i) \geq 0$ สำหรับทุก ๆ ค่า r_i ที่เป็นจำนวนจริง
3. ค่า $\rho\,(r_i) = 0$
4. ถ้า $|r_i| > |r_j|$ เมื่อ $i \neq j$ แล้ว $\rho\,(r_i) \geq \rho\left(r_j\right)$
5. ค่า $\lim_{r\to\infty} \rho(r) = \lim_{r\to -\infty} \rho(r) = 1$
6. เมื่อ K ค่าคงที่และ $K > 0$ จะได้ $\lim\limits_{r\to\infty} \frac{\rho(Kr)}{\rho(r)} = 1$
7. ค่า $\lim\limits_{|r|\to\infty} \frac{d\rho(r)}{dr} = 0$

จากสมการที่ 2.27 หากปรับส่วนเหลือเป็นส่วนเหลือมาตรฐาน (Standardized Residual) โดยนำส่วนเหลือมาหารด้วยค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ (Deviation of Residual) หรือ σ ที่มีค่าเท่ากับ $\frac{r_i}{s}$ ถ้าให้ s แทนค่าประมาณของค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือแล้ว จะได้วัตถุประสงค์ของวิธีตัวประมาณค่า M ดังนี้

$$Min_{\underline{\beta}} \sum_{i=1}^{n} \rho\left(\frac{r_i}{s}\right) = Min_{\underline{\beta}} \sum_{i=1}^{n} \rho\left(\frac{Y_i - \underline{X}_i^{'}\underline{\beta}}{s}\right) \qquad (2.28)$$

เมื่อ $s = median\left|r_i - median(r_i)\right| / 0.6745$ โดย 0.6745 คือค่าคงที่ที่ทำให้ s เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียง (Biased) เมื่อประมาณจากตัวอย่างขนาดใหญ่

การหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากสมการที่ 2.28 ทำได้โดยการแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Partial Derivative) ของฟังก์ชันส่วนเหลือเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\beta}_j$ เมื่อ $j = 0,1,\ldots, p$ ทำให้ได้ระบบสมการ k สมการ ที่มีจำนวนเท่ากับ $p + 1$ ตามสมการที่ 2.29

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \psi\left(\frac{Y_i - \underline{X}_i^{'}\underline{\beta}}{s}\right) = 0 \qquad (2.29)$$

เมื่อ $j = 0,1,\ldots,k$ และ ψ คือ อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชันส่วนเหลือ ρ และ x_{ij} เป็นค่าสังเกตที่ i จากสมการถดถอยที่ j เมื่อ $x_{i0} = 1$ โดยที่ ψ จะเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (Nonlinear Function) ที่หาคำตอบได้จากระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนักอย่างซ้ำ (Iteratively

Reweighted Least Squares: IRLS) ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยเบตัน (Beaton) และทูกี (Tukey) ในปี ค.ศ.1974 ที่เริ่มจากค่า $\hat{\beta}_0$ ที่เป็นค่าเริ่มต้น จากสมการที่ 2.29 ที่จัดให้เป็นรูปแบบสำหรับการหาคำตอบได้ตามสมการที่ 2.30

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{x_{ij}\left\{\psi\left[\frac{(Y_i - X_i'\beta)}{s}\right]\left(Y_i - X_i'\beta\right)/s\right\}\left(Y_i - X_i'\beta\right)}{s} = 0 \qquad (2.30)$$

ถ้าให้ W_i^0 เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกตที่ i ที่ได้จากค่า $\underline{\hat{\beta}}_0$ ที่มีค่าดังนี้

$$W_i^0 = \begin{cases} \dfrac{\psi\left[\dfrac{\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right)}{s}\right]}{\dfrac{\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right)}{s}} & ; \ \underline{Y}_i \neq \underline{X}_i'\underline{\hat{\beta}}_0 \\ 1 & ; \ \underline{Y}_i = \underline{X}_i'\underline{\hat{\beta}}_0 \end{cases}$$

ดังนั้นจากสมการ 2.30 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น $\sum_{i=1}^{n} x_{ij} W_i^0 \left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right) = 0$ เมื่อจัดรูปแบบใหม่ที่เป็นรูปแบบทั่วไปให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ ได้ตามสมการที่ 2.31

$$\underline{X}' W_i^0 \underline{X}\, \underline{\hat{\beta}} = \underline{X}' W_i^0 \underline{Y} \qquad (2.31)$$

เมื่อ $\underline{X}$ แทนเมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย และ W_i^0 แทนเมทริกซ์น้ำหนัก (Weight Matrix) ที่มีมิติ $n \times n$ ที่มีสมาชิกทั้งหมดเป็น $w_{11}^0, w_{22}^0, w_{33}^0, \ldots, w_{nn}^0$ เมื่อนำไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกตจะได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบแรกคือ $\underline{\hat{\beta}}_1$ ตามสมการที่ 2.32

$$\underline{\hat{\beta}}_1 = \left(\underline{X}' W_i^0 \underline{X}\right)^{-1} \underline{X}' W_i^0 \underline{Y} \qquad (2.32)$$

เมื่อค่า $\underline{\hat{\beta}}_1$ ที่ได้จะนำไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณรอบถัดไป และกระทำซ้ำจนกระทั่งลู่เข้า (Converge) สู่คำตอบ

วิธีตัวประมาณค่า S เป็นวิธีวิเคราะห์การถดถอยที่มีความแกร่งที่พัฒนามาจากวิธีตัวประมาณค่า M เนื่องจากวิธีตัวประมาณค่า M มีจุดอ่อนอยู่ที่ต้องพิจารณาถึงการแจกแจงของข้อมูล และเป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์จากฟังก์ชันที่ไม่ได้มาจากข้อมูลทั้งหมด เพราะใช้เพียงแต่ฟังก์ชัน

ถ่วงน้ำหนักที่มาจากค่ามัธยฐานเท่านั้น (Susanti, Pratiwi, Sulistijowati, & Liana, 2014, p. 354) ซึ่งหลักการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S นี้ จะหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่น้อยที่สุด โดย Montgomery et al. (2006, pp. 388) ได้แสดงแนวคิดของวิธีตัวประมาณค่า S ดังนี้

$$\min_{\beta} \hat{\sigma}_S(r_1, r_2, \ldots, r_n)$$

เมื่อ $\hat{\sigma}_S = s(r_1, r_2, \ldots, r_n) = s$ สามารถหาค่า s ได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.33 ดังนี้

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\rho\left(\frac{r_i}{s}\right) = K \qquad (2.33)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่และฟังก์ชันส่วนเหลือ ρ เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของสมการที่ 2.33 โดย ρ มีสมบัติเป็นฟังก์ชันที่สมมาตรที่มีค่าต่อเนื่อง โดย $\rho(0) = 0$ ทั้งนี้ต้องหาค่าคงที่ $c > 0$ ที่ทำให้ ρ มีความต่อเนื่องบนช่วง $[0, c]$ และ $[c, \infty]$ และค่า $\frac{K}{\rho(c)} = \frac{1}{2}$ โดย Rousseeuw and Leroy (2003, p. 142) ได้แนะนำให้ใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือ ρ ของทูกี ดังนี้

$$\rho(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^4} & ; |u_i| \le c \\ \frac{c^6}{6} & ; |u_i| > c \end{cases}$$

เมื่อ $u_i = \frac{r_i}{s}$ เป็นส่วนเหลือมาตรฐาน ทั้งนี้ถ้าพิจารณาจากเงื่อนไข $\frac{K}{\rho(c)} = \frac{1}{2}$ จะแสดงถึงการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยภายใต้จุดเปลี่ยนข้อมูล 50% ซึ่งจะได้ค่า K ที่นำไปใช้สำหรับหาค่า s จากสมการที่ 2.33 เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ ทั้งนี้สามารถคำนวณค่า K ได้จาก $E_{\Phi}(\rho(u))$ ที่เป็นค่าคาดหมาย (Expected Value) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เมื่อ u แจกแจงปรกติมาตรฐาน (Rousseww & Leroy, 1987, pp. 135, 139) แทนด้วย Φ

สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี เมื่อมีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50% ที่ $c = 1.547$ จะได้ค่า K ภายใต้ค่า u ที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน หรือ $u \sim N(0,1)$ และมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) หรือ $f(u)$ ดังนี้

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)$$

ดังนั้นจะได้ค่าคงที่ K ดังนี้

$$K = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(u) f(u) dx$$

$$= 2\int_{0}^{+\infty} \rho(u) f(u) dx \quad \text{(เนื่องจาก } \rho \text{ และ } f \text{ เป็นฟังก์ชันสมมาตร)}$$

$$= 2\int_{0}^{+\infty} \rho(u) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx$$

$$= 2\int_{0}^{1.547} \left(\frac{u^2}{2} - \frac{u^4}{2\times 1.547^2} + \frac{u^6}{6\times 1.547^4}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx$$

$$+ 2\int_{1.547}^{+\infty} \frac{1.547^2}{6} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx$$

$$= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{0}^{1.547} \left(\frac{u^2}{2} - \frac{u^4}{4.786} + \frac{u^6}{34.365}\right) \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx$$

$$+ \frac{1.547^2}{3} \int_{1.547}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx$$

$$= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{0}^{1.547} \left(\frac{u^2}{2} - \frac{u^4}{4.786} + \frac{u^6}{34.365}\right) \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) dx + 0.789\times\left(1-\Phi(1.547)\right)$$

$$= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times 0.189 + 0.798 \times \left(1 - 0.939\right) = 0.199$$

จาก $\rho(1.547) = \frac{1.547^2}{6} = 0.399$ และถ้าไม่สนใจความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปัดทศนิยมแล้วจะได้ $\frac{K}{\rho(c)} = \frac{E_\Phi(\rho(u))}{\rho(1.547)} = \frac{0.199}{0.399} = \frac{1}{2}$ ทั้งนี้ Rousseeuw and Leroy (2003, p. 142) ได้แสดงค่าคงที่ c และ K ที่กำหนดขึ้นจากค่าร้อยละของจุดแบ่งข้อมูล (ε^*) และค่าประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า (Efficiency of Parameter) หรือ e ได้ตามตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ค่าคงที่ c และ K จากค่าร้อยละของจุดแบ่งข้อมูลและค่าประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

c	K	ε^*	e
1.547	0.1995	50%	28.7%
1.756	0.2312	45%	37.0%
1.988	0.2634	40%	46.2%
2.251	0.2957	35%	56.0%
2.560	0.3278	30%	66.1%
2.937	0.3593	25%	75.9%
3.420	0.3899	20%	84.7%
4.096	0.4194	15%	91.7%
5.182	0.4475	10%	96.6%

สำหรับขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S เริ่มจากคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด หรือ $\underline{\hat{\beta}}_0$ ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นให้คำนวณส่วนเหลือ $r_i^{(0)}$ และค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ $s^{(0)}$ ด้วยค่า *MAD* และหาค่าส่วนเหลือมาตรฐาน (u_0) จาก $r_i^{(0)}/s$ เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าน้ำหนักเริ่มต้น $\left(W_i^0\right)$ จาก $\psi(u_0)/u_0$ เมื่อ ψ แทนอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ ρ' หรือ $\rho'(u_i)$ ที่คำนวณฟังก์ชัน $\psi(u_i)$ ได้ดังนี้

$$\psi(u_i) = \rho'(u_i) = \begin{cases} u_i\left[1-\left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right]^2 & ; \quad |u_i| \le c \\ 0 & ; \quad |u_i| > c \end{cases}$$

เมื่อนำ W_i^0 ไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกต จะได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบแรก $\underline{\hat{\beta}}_1$ ดังนี้

$$\underline{\hat{\beta}}_1 = \left(\underline{X}' W_i^0 \underline{X}\right)^{-1} \underline{X}' W_i^0 \underline{Y}$$

ส่วนการคำนวณในรอบถัดไปจะคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือใหม่จากค่าถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

$$s = \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^{n} W_i r_i^2}$$

จากนั้นคำนวณส่วนเหลือมาตรฐาน u_i ในรอบต่อไป เพื่อนำมาคำนวณค่าน้ำหนัก และเมื่อนำไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกต จะได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบถัดไป และจะกระทำเช่นนี้ซ้ำจนกระทั่งลู่เข้าสู่คำตอบ (Roelant et al., 2009) หรือค่า $\underline{\hat{\beta}}_i$ ในแต่ละรอบมีค่าต่างกันภายใต้เกณฑ์ที่กำหนด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีตัวประมาณค่า S

การวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีตัวประมาณค่า S เพื่อนำมาพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาดังนี้

Aelst and Willems (2005) ได้ศึกษาวิธีประมาณค่า S โดยพิจารณาจากจุดเปลี่ยนข้อมูลและฟังก์ชันเพียงพอ ทั้งนี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากวิธีตัวประมาณค่า S วิธี Classical bootstrap และวิธี Fast bootstrap

Matias and Yohai (2006) ได้พัฒนาวิธีตัวประมาณค่า S เพื่อให้สามารถเข้าถึงคำตอบได้เร็วขึ้นที่เรียกว่า fast-S และปรับปรุงวิธี LTS ให้เร็วขึ้นด้วยวิธี fast-LTS ที่เป็นการปรับปรุงขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างหลายครั้ง เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าวิธี LTS กับวิธี fast-LTS และวิธีตัวประมาณค่า S กับวิธี fast-LTS พบว่า เมื่อมีตัวแปร 45 ตัวแปร และมีค่านอกเกณฑ์ 10% วิธี fast-S สามารถทำได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลาเพียง 44 วินาที เมื่อทำการจำลองบนคอมพิวเตอร์ PC ที่มีความเร็วในการประมวลผล 3GHz

Verardi and McCathie (2007) ได้ออกแบบคำสั่งใหม่ในโปรแกรม Stata คือใช้คำสั่ง “smultiv” เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ในการหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่า ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จะมีค่าเหมือนกับการใช้โปรแกรมประยุกต์จากวิธีเดิม โดยผู้วิจัยแสดงให้เห็นว่า สามารถนำคำสั่งที่พัฒนานี้ไปใช้การการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นได้

Tharmaratnam, Claeskens, Croux, and Matias (2008) ได้ใช้วิธีตัวประมาณค่า S ในการวิเคราะห์การถดถอยที่ลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเส้นโค้ง (Penalized Regression Splines) ที่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยวิธีนี้เป็นวิธีการปรับข้อมูลที่กระจายตัวในแนวโค้งให้ราบเรียบขึ้น ผลการจำลองสถานการณ์โดยเปรียบเทียบกับวิธีตัวประมาณค่า M พบว่า ในกรณีที่มีร้อยละของค่านอกเกณฑ์น้อย วิธีตัวประมาณค่า M มีประสิทธิภาพดีกว่า แต่เมื่อมีร้อยละของค่านอกเกณฑ์มากวิธีตัวประมาณค่า S จะมีประสิทธิภาพดีกว่า

Roelant, Van, and Croux (2009) ได้นำเสนอวิธีตัวประมาณค่า S ที่ถูก generalize (Generalized S-estimators: GS) สำหรับการวิเคราะห์ความแกร่งของการถดถอยหลายตัวแปร ซึ่ง

เป็นการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่คำนึงถึงความแกร่งร่วมกับประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าที่ได้ภายใต้ตัวกำหนด (Determinent) ที่น้อยที่สุดของเมทริกซ์การกระจายของค่าสังเกต ตามส่วนเหลือแต่ละค่า นอกจากนี้ยังได้พัฒนาวิธี fast-GS ที่เป็นการปรับปรุงจากวิธี GS เพื่อให้ได้เข้าถึงคำตอบได้เร็วขึ้น และได้นำวิธีความแกร่งแบบบูทสแตรป (Robust Bootstrap) มาใช้สำหรับการวิเคราะห์หลายตัวแปร ผลการจำลองสถานการณ์ ภายใต้ข้อมูลจริงที่นำมาศึกษาพบว่า วิธี fast-GS มีความเร็วกว่าวิธี fast-S 1.72 วินาที

Meral and Onur (2011) ได้เปรียบเทียบวิธีตัวประมาณ S กับวิธีตัวประมาณค่า M และวิธี LTS เมื่อใช้ตัวอย่างข้อมูลมลพิษทางอากาศ ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า วิธี LTS ให้ค่า *MSE* น้อยกว่าวิธีอื่น เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ 2 ค่าและที่ความแปรปรวนของค่าสังเกตเป็น 100, 10, 1 และ 0.01

Milhano, Sequera and Sotto (2013) ได้ปรับแก้ขั้นตอนการคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยจะเลือกส่วนเหลือที่มีค่าเบี่ยงเบนน้อยที่สุดมาใช้คำนวณในแต่ละรอบ โดยผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้ใช้เวลาของการคำนวณในแต่ละรอบที่น้อยที่สุด (min (delay)) มีค่าเท่ากับ $\left(1-\varepsilon_N^*\right) N\Delta t$ เมื่อ ε_N^* คือจุดเปลี่ยนข้อมูล N คือค่าสังเกตทั้งหมด และ Δt คือเวลาที่เกิดขึ้นจากการปรับวิธีการใหม่นี้ในแต่ละรอบ

Smirnov and Shevlyakov (2014) ได้ปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า M และวิธีการที่ต่อยอดมาจากวิธีการนี้ โดยใช้ค่าสถิติ Q_n ของ Rousseeuw and Croux (1993) มาหาค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือในขั้นตอนแรกแทนค่า *MAD* ผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่า วิธีตัวประมาณค่า M ปรับแก้ใช้เวลาในการคำนวณจนกระทั่งได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยน้อยกว่าวิธีการเดิม และตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ปรับแก้มีสมบัติที่ดีกว่า

Oller, Alfons and Croux (2016) ได้ปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า S โดยการปรับแก้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกีและฮูเบอร์ เพื่อนำมาใช้หาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS เช่นเดียวกัน พบว่าวิธีการใหม่นี้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีตัวแปรทำนายจำนวนไม่มาก และมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 1, ร้อยละ 2, ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

ผลสรุปจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น แสดงให้เห็นทิศทางวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่ได้พยายามพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยการปรับวิธีตัวประมาณค่า S ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ที่คำนึงถึงเวลาในการคำนวณ และประสิทธิภาพของตัวประมาณที่ได้ เนื่องจากวิธีนี้เริ่มต้นหาคำตอบจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *MAD* ซึ่งค่า *MAD* นี้อาจจะยังไม่ได้เป็นค่าที่ดีที่สุด จึงไม่ทำให้ใช้เวลาในการลู่เข้าสู่คำตอบได้เร็วที่สุด หรืออาจจะยังไม่เป็นค่าเริ่มต้นที่ดีที่สุดที่จะนำมาหาคำตอบ หรือคำนวณตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ทำให้ได้ค่า *RMSE* ที่มีค่าน้อยที่สุดได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พยายามหาวิธีการสำหรับการหาค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่นำมาใช้แทนค่า *MAD* ซึ่งผลจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า Q_n ที่พัฒนาโดย Rousseeuw and Croux (1993) เป็นตัวประมาณค่าที่มีสมบัติใกล้เคียงกับค่า *MAD* แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า (Smirnov & Shevlyakov, 2014) ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะพัฒนาตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือใหม่ โดยนำค่า Q_n มาร่วมกับระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance)

และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree) ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม (Prim's Algorithm) เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักใหม่ แทนด้วย Q^{DMST} ที่นำมาใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยต่อไป

ตอนที่ 6 กระบวนการจำลองแบบปัญหา

กระบวนการจำลองแบบปัญหาภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ที่ศึกษา โดยนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ เพื่อให้แสดงคำตอบจากปัญหานั้น ทั้งนี้ Laguna and Marklund (2013, pp. 259-264) ได้อธิบายขั้นตอนการจำลองแบบปัญหาดังนี้

1. การกำหนดนิยามของปัญหา (Defining the Problem) เป็นขั้นตอนแรกของการจำลองแบบปัญหา โดยหลักการกำหนดนิยามของปัญหาเริ่มจาก การตั้งคำถามให้ชัดเจนว่าต้องการคำตอบใดจากการจำลองปัญหานี้ โดยการกำหนดนิยามของปัญหาจะต้องอยู่ภายใต้วัตถุประสงค์ และข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหาที่ต้องการศึกษา

2. การเข้าใจกระบวนการ (Understanding the Process) หลังจากการกำหนดปัญหาที่ต้องการจากการจำลองระบบแล้ว สิ่งต่อมาที่ต้องทราบคือ ต้องเข้าใจกระบวนการทำงานของระบบที่จำลองขึ้น ซึ่งวิธีการที่ทำให้สามารถเข้าใจกระบวนการได้นั้นจะต้องทบทวนกระบวนการที่ออกแบบมาโดยการเขียนส่วนประกอบของกระบวนการทั้งหมดรวมถึงอุปกรณ์ หรือทรัพยากรมนุษย์ที่ใช้ประกอบด้วย

2.1 หน่วยต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ
2.2 สถานี (Station) หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างหน่วยต่าง ๆ ในระบบ
2.3 การเชื่อมต่อของหน่วยต่าง ๆ ในระบบ
2.4 ทิศทางการเชื่อมต่อของหน่วยต่าง ๆ ในระบบ
2.5 กฎเกณฑ์ (Rule) และนโยบายเชิงปฏิบัติการ (Operating Policies)
2.6 ทางเลือกอื่นที่ใช้ประกอบการพิจารณา

3. การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ (Determining Goals and Objective) หลังจากทำความเข้าใจกระบวนการแล้ว ขั้นตอนต่อไปของการจำลองแบบปัญหาคือ การวางแผนการดำเนินงาน โดยการกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานนั้นต้องชัดเจน และอยู่ภายใต้ขนาดและขอบเขตที่จำกัด

4. การจัดการระบบ (Management) การทำให้ปัญหาหรือระบบที่จำลองขึ้นดำเนินต่อไปได้ต้องอาศัยกระบวนการจัดการ โดยการจัดการนี้ได้มาจากผลการศึกษา หรือจากประสบการณ์ ที่จะช่วยให้สามารถเข้าใจกระบวนการนี้ได้อย่างชัดเจน ซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องทบทวนวัตถุประสงค์และเป้าหมายการทำงาน กรอบเวลาของการดำเนินงาน ขอบเขตหรือข้อจำกัด คำถามที่สามารถหาคำตอบได้ ตลอดจนการวัดสมรรถนะ (Performance) ของระบบ การทบทวนนี้จะช่วยทำให้ทราบได้ว่าระบบที่จำลองขึ้นสามารถทำงานอะไร หรือไม่สามารถทำงานอะไรได้บ้าง เพื่อนำไปสู่แนวทางในการแก้ไขต่อไป

5. การเลือกซอฟท์แวร์ที่ใช้จำลอง (Choosing Simulation Software) การจำลองแบบปัญหาที่ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ หรือการใช้งานซอฟท์แวร์นั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความสามารถใน

การประมวลผลของคอมพิวเตอร์ และซอฟท์แวร์ที่ใช้ว่ามีประสิทธิภาพในการนำเข้า (Input) ข้อมูล ประมวลผลข้อมูล (Process) การนำออก (Output) ข้อมูล และมีค่าใช้จ่ายเท่าใด ถ้าคอมพิวเตอร์และซอฟท์แวร์ที่ใช้มีประสิทธิภาพดี จะส่งผลถึงคุณภาพของการจำลองแบบปัญหาด้วย ทั้งนี้ความเร็วของการประมวลผลถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการพิจารณาเลือกคอมพิวเตอร์และซอฟท์แวร์

6. การกำหนดความต้องการ และเตรียมความพร้อมข้อมูล (Determining Data Rrequirement and Availability) การนำข้อมูลที่จะเข้าสู่ระบบนั้น ต้องมีการเตรียมความพร้อมตามรูปแบบของระบบที่จำลองขึ้น

7. การสร้างสมมุติฐานที่เกี่ยวปัญหา (Developing Assumptions about the Problem) ระบบที่จำลองขึ้นจำเป็นต้องมีการกำหนดสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นภายใต้ขอบเขตของการศึกษา ถ้ากำหนดขอบเขตกว้างเกินไปก็จะต้องใช้เวลาหรือต้องขยายการทำงานของระบบออกไป ในขณะเดียวกันถ้ากำหนดขอบเขตแคบเกินไป อาจไม่ได้คำตอบตามผลการจำลองระบบ นอกจากนี้สมมุติฐานยังมีความสำคัญที่จะทำให้ทราบว่าระบบที่จำลองขึ้นถูกต้องหรือไม่ หากพบความผิดปกติของผลลัพธ์ที่ได้

8. การกำหนดการนำออกข้อมูล (Determining Desire Output) การนำออกข้อมูล หรือเอาท์พุดที่ได้จากการจำลองแบบปัญหามีความเป็นไปได้หลายรูปแบบ ซึ่งการออกแบบเอาท์พุดที่ดี ที่ตรงตามเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์นั้น ต้องคำนึงถึงหลักการทางสถิติที่ถูกนำมาใช้วางแผนของเอาท์พุดที่ต้องการ เพราะเอาท์พุดที่ได้นี้จะต้องนำวิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ เพื่อหาคำตอบที่ต้องการจากระบบที่จำลองนี้

9. การสร้างตัวแบบจำลอง (Building the Simulation Model) การสร้างตัวแบบจำลองนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องภายในคือ ตัวระบบที่จำลองขึ้นภายใต้ปัญหาตามสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา และปัจจัยภายนอก เช่น การสร้างตัวแบบจำลองที่สามารถใช้ได้หลากหลายที่ไม่จำกัดอยู่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้สามารถรองรับกับซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

10. การใช้งานโครงการ (Project Kickoff) ภายหลังจากการสร้างแบบจำลองปัญหาเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจ หรือประเมินผลการดำเนินงานภายใต้โครงการที่ต้องการศึกษาได้ ผู้รับผิดชอบโครงการจะเป็นผู้หาแนวทางในการพัฒนาโครงการ โดยอาจสร้างแบบจำลองปัญหาอื่น ๆ ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้หาคำตอบของปัญหาอื่นในโครงการต่อไป

การสร้างเลขสุ่ม (Generation of Random Number)

การสร้างเลขสุ่มถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญในการสร้างกระบวนการจำลองแบบปัญหา โดย Hillier and Lieberman (2015, pp. 909-911) ได้กล่าวถึงการสร้างตัวเลขสุ่ม ว่าเป็นกระบวนการสร้างตัวเลขตามการแจกแจงตามที่กำหนด และต้องเป็นไปอย่างสุ่ม (Randomness) ตัวเลขสุ่ม (Random Number) แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวเลขสุ่มจำนวนเต็ม (Random Integer Number) และตัวเลขสุ่มเอกรูป (Uniform Random Number)

ตัวเลขสุ่มจำนวนเต็ม หรือค่าสังเกตอย่างสุ่ม (Random Observation) ที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discretizer Uniform Distribution) ซึ่งมีค่าพิสัย (Range) ของค่าสังเกตแต่ละค่าเป็น $\underline{n}$, $\underline{n}$+1,...,$\overline{n}$ มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังนี้

$$P(\underline{n}) = P(\underline{n}+1) = \ldots = P(\overline{n}) = \frac{1}{\overline{n}-\underline{n}+1}$$

โดยปกติจะให้ $\underline{n}$ = 0 หรือ 1 ส่วนตัวเลขสุ่มเอกรูปเป็นค่าสังเกตอย่างสุ่มที่มีความต่อเนื่อง (Continuous) มีการแจกแจงแบบเอกรูปภายในช่วง [a, b] ที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & ; \quad a \le x \le b \\ 0 & ; \quad \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

เมื่อ a และ b ไม่มีค่าเฉพาะแต่โดยปกติจะให้ a = 0 หรือ b = 1

การสร้างตัวเลขสุ่มเริ่มต้นจาก การสร้างตัวเลขสุ่มจำนวนเต็มโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถใช้วิธีการแปลงให้มีการแจกแจงแบบเอกรูปได้คือ หากต้องการสร้างตัวเลขสุ่มจำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง $\overline{n}$ ให้หารจำนวนเหล่านี้ด้วยจำนวน $\overline{n}$ ค่า (ถ้า $\overline{n}$ มีค่าน้อยมากให้บวกด้วยค่า $\frac{1}{2}$ แล้วหารด้วยค่า $\overline{n}+1$ แทน) สำหรับวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างเลขสุ่มคือ วิธีเศษเหลือของผลคูณ (Multiplicative Congruential Method) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$x_{i+1} = (ax_n + c)(\text{modulo } m) \quad \text{เมื่อ } i = 1,2,3,\ldots$$

โดยที่ a, c และ m เป็นเลขจำนวนเต็มบวก ($a < m$, $c < m$) เมื่อค่า x_{n+1} เป็นค่าเศษเหลือจากการหาร $ax_n + c$ ด้วย m ซึ่งค่าที่เป็นไปได้ของ x_{i+1} คือ 0,1,2,...,m -1 และถ้าต้องการสร้างตัวเลขสุ่มยูนิฟอร์มจะคำนวณจากตัวเลขสุ่มจำนวนเต็มดังนี้

$$\text{ตัวเลขสุ่มเอกรูป} = \frac{\text{ตัวเลขสุ่มจำนวนเต็ม} + \frac{1}{2}}{m}$$

Hillier and Lieberman (2015, pp. 913-915) ได้กล่าวถึงวิธีการสร้างตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ด้วยวิธีการแปลงผกผัน (Inverse Transform Technique) ซึ่งวิธีการแปลง

ผกผันนี้ สามารถใช้ได้กับตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงได้หลากหลาย โดยถ้าให้ X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) เป็น $F_x(x)$ มีค่าเท่ากับ $P\{X \le x\}$ วิธีการแปลงผกผันจะมี 2 ขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเลขสุ่ม r ที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1
2. กำหนดให้ $F_x(x) = r$ ให้แก้สมการหาค่า x ซึ่งจะเป็นค่าเลขสุ่มที่ได้จากฟังก์ชันการแจกแจงนี้

ตัวอย่างการสร้างเลขสุ่มจากตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปรกติ จากตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูปในช่วง 0 ถึง 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{1}{2}$ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{12}}$ จะได้ผลรวมของเลขสุ่ม n จำนวนจะมีการแจกแจงใกล้เคียงแบบปรกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{n}{2}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $\sqrt{n/12}$ ดังนั้นถ้าให้ $r_1, r_2, ..., r_n$ เป็นตัวอย่างเลขสุ่มเอกรูปจะได้ x เป็นเลขสุ่มที่มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบปรกติที่มีค่าเฉลี่ย μ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ที่หาได้ดังนี้

$$x = \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}} \sum_{i=1}^{n} r_i + \mu - \frac{n}{2} \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}}$$

อย่างไรก็ตามเราสามารถให้โปรแกรม Microsoft Excel มาสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงปรกติที่มีค่าเฉลี่ย μ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ได้จากคำสั่ง NORMINV (RAND ( ), μ, σ)

นอกจากวิธีการแปลงผกผันแล้ว Hillier and Lieberman (2015, pp. 916-917) ยังได้นำเสนอวิธีการสร้างเลขสุ่มอีกหนึ่งวิธีคือ วิธีการยอมรับและปฏิเสธ (The Acceptance-Reject Method) ซึ่งวิธีการนี้จะกระทำได้เมื่อไม่สามารถใช้วิธีการแปลงผกผัน เนื่องจากอาจไม่สามารถหาฟังก์ชันการแจกแจงแบบผกผันจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น หรือหาฟังก์ชันการแจกแจงแบบผกผันได้ยาก วิธีการนี้จะได้คำตอบที่เร็วกว่าวิธีการแปลงผกผัน ที่แสดงตัวอย่างของขั้นตอนการสร้างเลขสุ่มวิธีนี้ ได้ดังนี้

ให้ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นมีค่าดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} x & ; \quad 0 \le x \le 1 \\ 1-(x-1) & ; \quad 1 \le x \le 2 \\ 0 & ; \quad \text{มีค่าอื่น ๆ} \end{cases}$$

จากฟังก์ชันข้างต้นจะหาเลขสุ่มได้ตาม 3 ขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเลขสุ่ม r_1 ที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 กำหนดให้ $x = 2 r_1$ ซึ่งจะได้ x มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2
2. กำหนดตัวแปรสุ่ม x มีความน่าจะเป็น ดังนี้

$$\text{ความน่าจะเป็น} = \begin{cases} x & ; \quad 0 \le x \le 1 \\ 1-\left(x-1\right) & ; \quad 1 \le x \le 2 \end{cases}$$

ขั้นตอนทั้ง 2 นี้เป็นขั้นตอนการสร้างเลขสุ่ม ถ้า x ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขนี้ให้เริ่มต้นใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรก

3. สร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูป r_2 ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยจะยอมรับค่า x ถ้า $r_2 \le f(x)$ และปฏิเสธค่า x ถ้า $r_2 > f(x)$ ซึ่งถ้าปฏิเสธค่า x จะให้ทำ 2 ขั้นตอนแรกซ้ำ

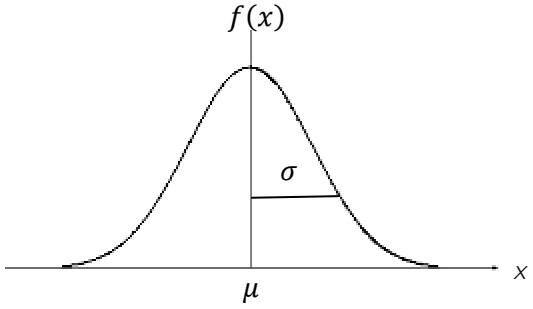
การแจกแจงของตัวแปรสุ่ม (Distribution of Random Variable)

การแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่นำมาใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยการแจกแจงปรกติ (Normal Distribution) การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribtion) และการแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) ที่มีรายละเอียดดังนี้

1. การแจกแจงปรกติ เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่องของตัวแปรสุ่ม (Continuous Random Variable) แบบหนึ่งที่มีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function) ดังนี้

$$f\left(x;\mu,\sigma^2\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad ; -\infty < x < \infty$$

เมื่อ x เป็นตัวแปรสุ่ม μ เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม และ σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน π และ e เป็นค่าคงที่ (Julien, 2015, p. 102) ทั้งนี้การแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบปรกติแสดงได้ตามภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 กราฟการแจกแจงปรกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ

2.การแจกแจงแบบแกมมา เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่องของตัวแปรสุ่มแบบหนึ่ง โดยถ้าให้ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบแกมมาที่มีจำนวนพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ α ที่เป็นค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่าง (Shape Parameter) และ β เป็นพารามิเตอร์กำหนดมาตราส่วน (Scale

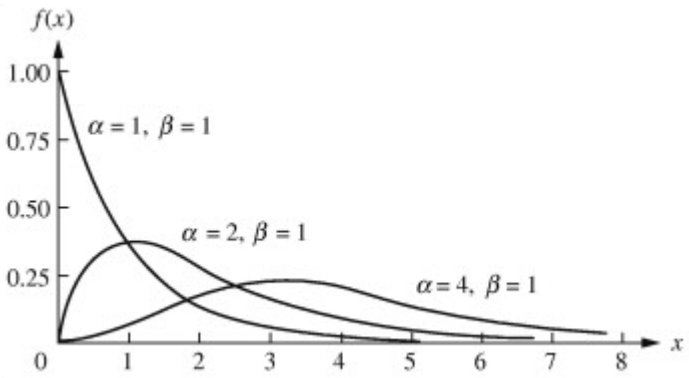
Parameter) เมื่อ $\alpha > 0$, $\beta > 0$ แล้วฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X แสดงได้ดังนี้

$$f(X;\alpha,\beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} X^{\alpha-1}e^{-x/\beta} & ; \ X>0 \\ 0 & ; \ X\leq 0 \end{cases}$$

ตัวแปรสุ่ม X ที่มีการแจกแจงแกมมา เขียนแทนด้วย $X \sim Gamma(\alpha, \beta)$ ที่มี $\Gamma(\alpha)$ เป็นฟังก์ชันแกมมา แสดงได้ดังนี้

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1}e^{-y}\,dy$$

ตัวแปรสุ่มที่แจกแจงแกมมา กราฟจะมีลักษณะเบ้ขวา โดยค่า α และ β มีทิศทางตรงข้ามกันซึ่งพบว่า ถ้าα มีค่าเพิ่มขึ้นแล้วกราฟจะลู่เข้าใกล้เคียงการแจกแจงปรกติ (Devore, 2012, pp. 167-168) ทั้งนี้แสดงภาพการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบแกมมา ได้ตามภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 กราฟการแจกแจงแกมมาที่มีพารามิเตอร์ $\alpha > 0$, $\beta > 0$

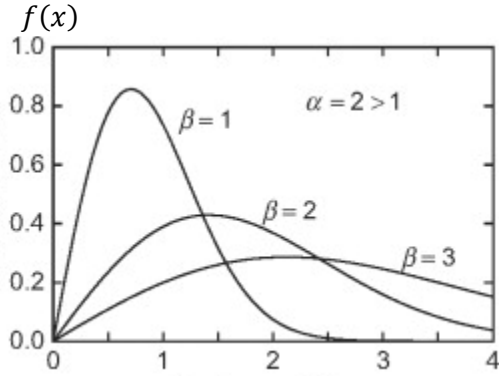
3. การแจกแจงไวบูล เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่องของตัวแปรสุ่มแบบหนึ่ง โดยถ้าให้ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงไวบูล ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ α ที่เป็นค่าพารามิเตอร์กำหนดมาตราส่วน และ β เป็นพารามิเตอร์กำหนดรูปร่าง เมื่อ $\alpha > 0$, $\beta > 0$ แล้วฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X แสดงได้ดังนี้

$$f(X;\alpha,\beta) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{X}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{X}{\alpha}\right)^{\beta}} & ; \ X>0 \\ 0 & ; \ X\leq 0 \end{cases}$$

ตัวแปรสุ่ม X ที่มีการแจกแจงแบบไวบูล เขียนแทนด้วย X ~ $Weibull(\alpha, \beta)$ ที่มี $\Gamma(\alpha)$ เป็นฟังก์ชันแกมมา โดยนิยามได้ ดังนี้

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

ทั้งนี้จะแสดงภาพการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบไวบูล ได้ตามภาพที่ 2-15 (William & Shultis, 2012, pp. 316 – 317)



ภาพที่ 2-15 กราฟการแจกแจงไวบูล ที่มีพารามิเตอร์ $\alpha = 2, \beta > 0$

วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method)

การจำลองปัญหาด้วยวิธีมอนติคาร์โลเป็นวิธีการที่นิยมใช้จำลองปัญหาวิธีการหนึ่ง ที่อาศัยหลักการเลือกเลขสุ่มจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่มีการแจกแจงเอกรูปที่มีค่าพารามิเตอร์เป็น 0 และ 1 เขียนแทนด้วย $U(0,1)$ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการทำงาน วิธีการนี้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อจำลองสถานการณ์ สำหรับนำไปสร้างระเบิดอัตโนมัติ (Atomic Bomb) (Law, 2007, p. 73) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. กำหนดปัญหาหรือระบบที่ต้องการจำลอง และสร้างแบบจำลองข้อมูลที่จะนำมาเป็นตัวแปรในการพยากรณ์ ซึ่งการกำหนดปัญหาเป็นขั้นตอนแรกของการจำลองแบบปัญหา ที่ต้องเริ่มจากการตั้งคำถามให้ชัดเจนว่าต้องการคำตอบใดจากการจำลองปัญหานี้ ภายใต้วัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่าง ๆ โดยอาจจะเขียนส่วนประกอบของกระบวนการทั้งหมด ที่ใช้สร้างแบบจำลองข้อมูล เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ ได้แก่ หน่วยต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ การเชื่อมต่อและทิศทางของหน่วยต่าง ๆ ในระบบ กฎเกณฑ์หรือเงื่อนไขที่ใช้ ตลอดจนทางเลือกอื่นที่ใช้ประกอบการพิจารณา จากนั้นจึงกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองข้อมูล ที่จะนำมาเป็นตัวแปรในการพยากรณ์ให้ชัดเจน ภายใต้ขนาดและขอบเขตที่จำกัด และต้องมีการทบทวนวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการทำงาน กรอบเวลาของการดำเนินงาน ขอบเขตหรือข้อจำกัด คำถามที่สามารถหา

คำตอบได้ และวิธีการวัดสมรรถนะของระบบ เพื่อนำไปสู่แนวทางในการแก้ไขต่อไป (Taylor, 2007, p. 566)

2. สร้างตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นการแจกแจงของค่าสังเกตที่นำมาใช้กับระบบที่จำลองขึ้น ได้แก่ วิธีการยอมรับและปฏิเสธ วิธีการแปลงผกผัน หรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล (Microsoft Excel)

สำหรับการใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลเพื่อสร้างค่าสังเกตหรือข้อมูลที่มีการแจกแจงตามที่กำหนด เริ่มจากการสร้างเลขสุ่มเทียม (Pseudorandom Number Generation) ซึ่งเป็นการสร้างเลขสุ่มแต่ละค่าแบบเส้นตรงสมภาค (Linear Congruential Generator: LCG) ที่มีสมการดังนี้

$$\text{เลขสุ่มค่าต่อไป} = (B \text{ คูณเลขสุ่มที่เกิดขึ้นก่อน} + A) \text{ Mod } m \qquad (2.34)$$

เมื่อ Mod หมายถึง Modulus ซึ่งถ้าค่า x Mod y หมายถึง เศษที่เหลือจากการหาร x ด้วย y โดยที่ A, B และ m เป็นจำนวนเต็ม เช่น ถ้าต้องการสร้างเลขสุ่ม เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 0.05 ที่มีค่า A, B และ m เป็น 100, 3 และ 5 ตามลำดับ จะสร้างเลขสุ่มค่าต่อไปที่คำนวณตามลำดับขั้นที่ (1), (2) และ (3) คือ (1). 3 x 0.5 = 1.5, (2). 1.5 + 100 = 101.5 และ (3). จะได้ 101.5 Mod 5 = 1.5 ซึ่ง 1.5 จะเป็นเลขสุ่มตัวแรกที่สร้างขึ้น เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ 2.34 จะได้ค่า 4.5, 3.5 และ 0.5 ตามลำดับ เนื่องจากในตัวอย่างกำหนดค่า B เป็น 3 จะได้เลขสุ่ม 3 ค่า โดยตัวที่ 4 จะเป็น 0.5 ที่เป็นค่าเริ่มต้นที่กำหนดในขั้นตอนแรก และค่าต่อ ๆ ไปจะวนซ้ำเดิม ดังนั้นหากต้องการเลขสุ่มที่มีจำนวนมากกว่านี้จะต้องเพิ่มค่า B ทั้งนี้สามารถใช้คำสั่ง RAND ในเครื่องมือของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลได้ โดยฟังก์ชันการทำงานของคำสั่ง RAND จะเป็นการสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วง 0 ถึง 1 ที่ใช้แนวคิดในการเลือกตัวเลขที่อยู่ในช่วงนี้ ซึ่งหากต้องการเพิ่มช่วงเป็น 0 ถึง 10 จะนำค่าคงที่ 10 ไปคูณกับตัวเลขที่เลือกมาจากช่วง 0 ถึง 1 นี้ (Barreto & Howland, 2006, p. 217) การจำลองแบบปัญหาด้วยวิธีมอนติคาร์โลโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลมักใช้กับปัญหาที่ไม่มีความซับซ้อนมาก และการสร้างเลขสุ่มมักจะสร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นพื้นฐาน ได้แก่ ฟังก์ชันการแจกแจงปรกติ การแจกแจงเอกรูป การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) และการแจกแจงปัวซง (Poission Distribution) โดยผลลัพธ์จะได้ค่าสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และแผนภูมิแบบฮิสโทแกรม แต่การใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ใช้กับข้อมูลพื้นฐานที่มีลักษณะโครงสร้างไม่ซับซ้อน ทำได้ยากกับปัญหาที่มีความซับซ้อน ใช้เวลาการคำนวณนานกว่าหากเทียบกับโปรแกรมอื่น เช่น Discrete-event Simulation Package และพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลมีอย่างจำกัด (Law, 2007, p. 75)

3. การแปลงปัญหาหรือระบบที่ต้องการจำลองให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Simulation) ขั้นตอนนี้เป็นการนำหลักการทางคณิตศาสตร์มาเป็นเครื่องมือช่วยใน

การคำนวณ ซึ่งจะต้องแยกให้ชัดเจนว่า ตัวแปรทำนายและตัวแปรเกณฑ์คืออะไร จากนั้นจึงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และข้อจำกัดหรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ (Velten, 2009, p. 12) ในที่นี้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแบบถดถอยที่มี Y เป็นเงินนำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ส่วน x_j เป็นจำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานในประเทศต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีรูปแบบดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \ldots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

ทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองปัญหาที่สร้างขึ้น เป็นขั้นตอนการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบข้อมูลมาพิจารณาว่า ระบบที่จำลองนั้นถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องจะต้องพิจาณาปรับแก้ เพื่อให้ได้ระบบที่ต้องการแท้จริง

ตอนที่ 7 แรงงานไทยในต่างประเทศ รายได้นำเข้าประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสี่ทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่แรงงานนิยมเดินทางไปทำงานต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เนื่องจากรายได้ที่ได้รับจากการทำงานในต่างประเทศมักสูงกว่ารายได้จากการทำงานในประเทศ ยังผลให้ปัจจุบันมีรายได้นำเข้าประเทศเพิ่มขึ้นเฉลี่ยไม่น้อยกว่าปีละ 5 หมื่นล้านบาทอีกด้วย ทั้งนี้ตลาดแรงงานต่างประเทศที่สำคัญของไทย ตามที่ปรากฏในฐานข้อมูลแรงงานไทยในต่างประเทศของธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2559 พบว่าแรงงานไทยนิยมไปทำงานในไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ มากที่สุดตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2-5

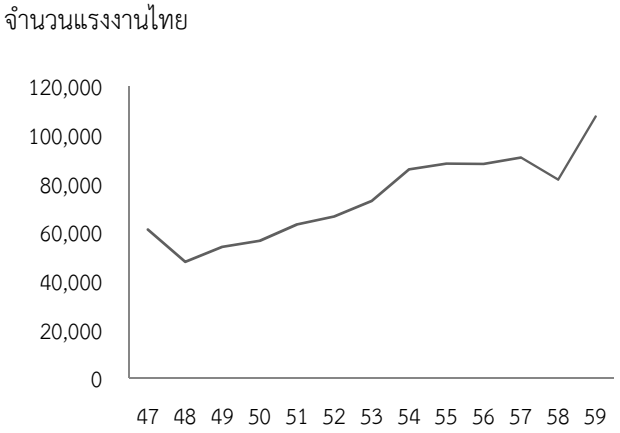
ตารางที่ 2-5 จำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2559

หน่วย : คน

ประเทศ	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
1. ไต้หวัน	40,927	47,839	39,128	34,631	37,105	35,027	34,738
2. สิงคโปร์	12,719	11,461	11,864	10,728	8,191	5,843	7,265
3. มาเลเซีย	3,630	4,321	4,441	3,850	3,237	3,263	3,318
4. ญี่ปุ่น	6,102	9,302	8,629	6,904	7,614	8,610	7,705
5. อิสราเอล	7,822	9,333	5,021	8,393	7,618	8,629	7,144
6. ประเทศอื่น ๆ	72,595	65,367	65,018	66,005	55,764	53,065	57,121
รวม	143,795	147,623	134,101	130,511	119,529	114,437	117,291

ที่มา: ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2560

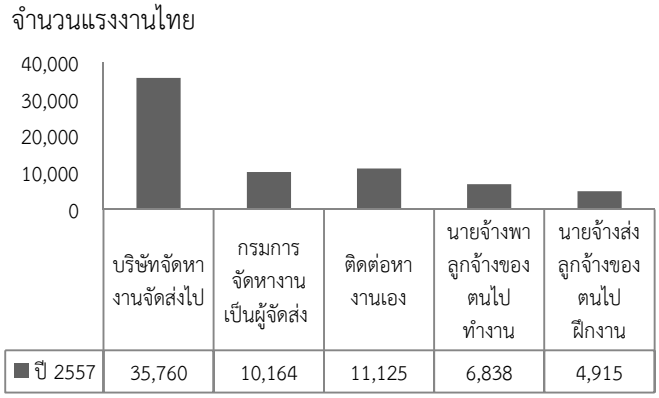
จากการที่มีแรงงานไทยจำนวนไม่น้อยไปทำงานในต่างประเทศ ยังผลให้มีรายได้นำเข้าประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2559 ที่ถือได้ว่าเป็นรายได้หลักส่วนหนึ่งของประเทศ ที่แสดงตามภาพ 2-16



ภาพที่ 2-16 แนวโน้มมูลค่าเงินนำเข้าประเทศจากแรงงานไทยที่ไปทำงานต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2559

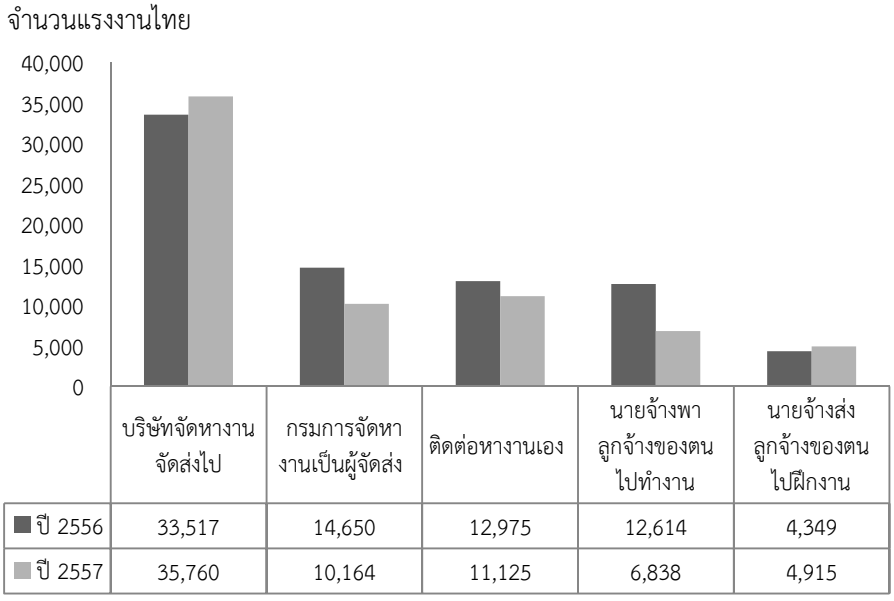
ทั้งนี้ยังสามารถจำแนกรายได้นำเข้าประเทศเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ที่ปรากฏในฐานข้อมูลของธนาคารแห่งประเทศไทย ตามตารางในภาคผนวก ก.

สำหรับช่องทางการเดินทางไปทำงานต่างประเทศที่ถูกกฎหมาย พบว่ามีอยู่ 5 ช่องทางด้วยกัน คือ 1) บริษัทจัดหางานจัดส่งไป 2) กรมการจัดหางานเป็นผู้จัดส่งไปทำงาน 3) ผู้ที่จะไปทำงานติดต่อหางานเอง 4) นายจ้างในประเทศไทยพาลูกจ้างของตนไปทำงาน และ 5) นายจ้างในประเทศไทยส่งลูกจ้างของตนไปฝึกงาน (กองบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ, 2559) ทั้งนี้จากข้อมูลของสำนักการบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ ได้สรุปวิธีการเดินทางของแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศในปี พ.ศ. 2557 พบว่า เป็นวิธีการเดินทางโดยบริษัทจัดหางานจัดส่งมากที่สุดคิดเป็น จำนวน 35,760 คน (ร้อยละ 51.98) รองลงมาคือ วิธีการเดินทางโดยการแจ้งการเดินทางด้วยตนเอง จำนวน 11,125 คน (ร้อยละ 16.17) และวิธีการเดินทางโดยกรมการจัดหางานจัดส่ง จำนวน 10,164 คน (ร้อยละ 14.77) ดังแสดงตามแผนภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 จำนวนแรงงานที่ไปทำงานต่างประเทศจำแนกตามวิธีการเดินทางในปี พ.ศ. 2557

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการเดินทางที่แรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศ ระหว่างปี พ.ศ. 2557 กับ พ.ศ. 2556 พบว่า วิธีที่นายจ้างส่งลูกจ้างไปฝึกงาน และบริษัทจัดหางานจัดส่ง คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 13.01 และ 6.69 ตามลำดับ ส่วนวิธีการเดินทางโดยนายจ้างพาลูกจ้างไปทำงาน ลดลงมากที่สุด ร้อยละ 45.79 รองลงมาคือ วิธีการเดินทางโดยกรมการจัดหางานจัดส่ง ร้อยละ 30.62 และวิธีการเดินทางโดย การแจ้งการเดินทางด้วยตนเอง ร้อยละ 14.26 ซึ่งสามารถแสดงจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557 ตามภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 จำนวนแรงงานที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศด้วยวิธีการต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557

สภาวะตลาดแรงงานไทยในภูมิภาคเอเชีย

สำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน (2559, หน้า 18 - 26) ได้รายงานว่า ในส่วนภูมิภาคเอเชียเป็นตลาดแรงงานหลักที่มีแรงงานไทยเดินทางไปทำงานมากที่สุด โดยเฉพาะในไต้หวัน แม้ว่าปัจจุบันความต้องการเดินทางไปทำงานในไต้หวันของแรงงานไทยจะลดลง เนื่องจากค่าจ้างไม่จูงใจเช่นในอดีต และแรงงานไทยมีทางเลือกมากขึ้น แต่ไต้หวันก็ยังคงเป็นตลาดแรงงานที่มีแรงงานไทยเดินทางไปทำงานมากที่สุด รองลงมาเป็น สาธารณรัฐเกาหลี สิงคโปร์ และญี่ปุ่น โดยแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานในภูมิภาคนี้ส่วนใหญ่เป็นแรงงานประเภทไร้ฝีมือที่ทำงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและก่อสร้าง ซึ่งแนวโน้มความต้องการแรงงานต่างชาติในภูมิภาคนี้ยังคงมีอยู่สูง เนื่องจากหลายประเทศประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานทั้งแรงงานฝีมือ กึ่งฝีมือ และไร้ฝีมืออย่างต่อเนื่อง ดังนั้นโอกาสของแรงงานไทย จึงเป็นไปได้ในทุกสาขาอาชีพที่ขาดแคลนและแรงงานไทยที่มีศักยภาพ อย่างไรก็ตาม อัตราค่าจ้างถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แรงงานไทยตัดสินใจเดินทางไปทำงานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะไต้หวัน สาธารณรัฐเกาหลี สิงคโปร์ และญี่ปุ่น ที่มีอัตราค่าจ้างที่สูง

จากผลสำรวจยังพบอีกว่า ในปี พ.ศ. 2557 แรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศในภูมิภาคเอเชียมากที่สุดจำนวน 47,539 คน คิดเป็นร้อยละ 69.09 ของจำนวนแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด แยกเป็นชาย 37,514 คน (ร้อยละ 54.52) หญิง 10,025 คน (ร้อยละ 14.57) สำหรับตลาดแรงงานที่แรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุดคือ ไต้หวัน จำนวน 30,047 คน (ร้อยละ 43.67) รองลงมาได้แก่ ญี่ปุ่น 6,508 คน (ร้อยละ 9.46) สาธารณรัฐเกาหลี 4,482 คน (ร้อยละ 6.51) มาเลเซีย 963 คน (ร้อยละ 1.40) และสิงคโปร์ 865 คน (ร้อยละ 1.26) ตามลำดับ

ทั้งนี้มีจำนวนแรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศในภูมิภาคเอเชีย โดยวิธีการจัดส่งของบริษัทจัดหางานมากที่สุด จำนวน 31,589 คน คิดเป็นร้อยละ 66.45 ของจำนวนแรงงานไทย ที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศในภูมิภาคเอเชียทั้งหมด รองลงมาได้แก่ กรมการจัดหางานจัดส่ง 5,162 คน (ร้อยละ 10.86) นายจ้างส่งลูกจ้างไปฝึกงาน 4,687 คน (ร้อยละ 9.86) แจ้งการเดินทางด้วยตนเอง 3,357 คน (ร้อยละ 7.06) นายจ้างเป็นผู้พาลูกจ้างไปทำงานในสำนักงานใหญ่ หรือสาขาของตนในต่างประเทศ 2,744 คน (ร้อยละ 5.77) ตามลำดับ การเดินทางไปทำงานต่างประเทศในแถบภูมิภาคเอเชียของแรงงานไทยเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2556 มีจำนวนลดลง 1,988 คน คิดเป็นร้อยละ 4.01

สถานการณ์แรงงานในไต้หวัน

จากผลสำรวจในปี พ.ศ. 2557 ของสำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงานพบว่า การทำงานในไต้หวันนั้นเป็นตลาดแรงงานที่มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตเดินทางไปทำงานมากที่สุด ซึ่งเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่นับรวมแรงงานที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 30,047 คน คิดเป็นร้อยละ 43.67 ของจำนวนแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด โดยแยกเป็นชาย 24,895 คน (ร้อยละ 36.18) และหญิง 5,152 คน (ร้อยละ 7.49) สามารถจำแนกจำนวนตามรายละเอียดได้ดังนี้

จำแนกตามภูมิภาค พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานไต้หวันมากที่สุด จำนวน 21,675 คน คิดเป็นร้อยละ 72.14 ของจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานไต้หวันทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ จำนวน 7,239 คน (ร้อยละ 24.09) ภาคกลาง จำนวน 613 คน (ร้อยละ 2.04) ภาคตะวันออก จำนวน 346 คน (ร้อยละ 1.15) ภาคตะวันตก จำนวน 120 คน (ร้อยละ 0.40) และภาคใต้ จำนวน 54 คน (ร้อยละ 0.18)

จำแนกตามรายจังหวัด พบว่า จังหวัดอุดรธานีเป็นจังหวัดที่มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุด จำนวน 5,068 คน คิดเป็นร้อยละ 16.87 รองลงมาได้แก่ นครราชสีมา จำนวน 3,104 คน (ร้อยละ 10.33) เชียงราย จำนวน 2,027 คน (ร้อยละ 6.75) ชัยภูมิ จำนวน 1,735 คน (ร้อยละ 5.77) และบุรีรัมย์ จำนวน 1,664 คน (ร้อยละ 5.54)

จำแนกตามสาขาอาชีพ พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานส่วนใหญ่เป็นสาขาอาชีพผู้ปฏิบัติงานในโรงงานประเภทควบคุมเครื่องจักรและประกอบชิ้นส่วน จำนวน 26,852 คน คิดเป็นร้อยละ 89.37 รองลงมาได้แก่ อาชีพพื้นฐาน ซึ่งเป็นแรงงานด้านการผลิต ก่อสร้าง เกษตร ฯลฯ จำนวน 1,892 คน (ร้อยละ 6.30) ผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ จำนวน 913 คน (ร้อยละ 3.04) พนักงานบริการ พนักงานขายในร้านค้าและตลาด จำนวน 304 คน (ร้อยละ 1.01) และช่างเทคนิคและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 44 คน (ร้อยละ 0.15)

จำแนกตามระดับการศึกษา พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทาง ไปทำงานจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 มากที่สุด จำนวน 10,936 คน คิดเป็นร้อยละ 36.40 รองลงมาได้แก่ ระดับประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 9,137 คน (ร้อยละ 30.41) มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 6,274 คน (ร้อยละ 20.88) ประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1,190 คน (ร้อยละ 3.96) และปวช. จำนวน 1,103 คน (ร้อยละ 3.67)

แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในไต้หวัน

ข้อมูล ณ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 พบว่า มีแรงงานต่างชาติทำงานอยู่ในไต้หวัน จำนวน 540,253 คน แบ่งเป็น แรงงานจากอินโดนีเซีย 226,391 คน (ร้อยละ 41.90) เวียดนาม 145,839 คน (ร้อยละ 26.99) ฟิลิปปินส์ 108,520 คน (ร้อยละ 20.09) ไทย 59,496 คน (ร้อยละ 11.01) และมาเลเซีย 4 คน แรงงานต่างชาติส่วนใหญ่ทำงานอยู่ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคบริการ (ผู้ช่วยงานบ้าน/ผู้อนุบาล) ส่วนแรงงานไทยส่วนใหญ่เป็นแรงงานไร้ฝีมือทางานอยู่ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตมากที่สุด รองลงมาเป็นภาคการก่อสร้าง โดยสถิติแรงงานไทยที่ขออนุมัติเดินทางไปทำงานในไต้หวัน ปี พ.ศ. 2557 มีจำนวน 37,105 คน ปี พ.ศ. 2556 มีจำนวน 34,631 คน ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 39,128 คน ปี พ.ศ. 2554 จำนวน 47,839 คน และปี พ.ศ. 2553 จำนวน 40,927 คน ส่วนใหญ่เดินทางไปทำงานโดยบริษัทจัดหางานจัดส่งและกรมการจัดหางานจัดส่ง ตามลำดับ

สำหรับแนวโน้มการจ้างแรงงานต่างชาติในภาคอุตสาหกรรมการผลิตยังมีความต้องการแรงงานต่างชาติจำนวนมาก เนื่องจากประชากรในวัยทำงานของไต้หวันลดลง อันเนื่องมาจากอัตราการเกิดที่ลดลง รวมทั้งชาวไต้หวันรุ่นใหม่ที่จบการศึกษาในระดับสูงไม่นิยมทำงานในโรงงาน โดยเฉพาะงานประเภท 3D (งานหนัก สกปรก และมีความเสี่ยง) ทำให้ผู้ประกอบการต้องหันมาจ้างแรงงานต่างชาติ ส่วนภาคก่อสร้างยังคงมีความต้องการจ้างแรงงานต่างชาติจำนวนมาก แต่รัฐบาลมีนโยบายในการคุ้มครองแรงงานท้องถิ่น จึงจำกัดการนำเข้าแรงงานต่างชาติเข้มงวดมากขึ้น ดังนั้น

โอกาสการนำเข้าแรงงานไทยเพิ่มขึ้นจึงมีจำนวนน้อยและในส่วนภาคสวัสดิการสังคมซึ่งได้แก่ ตำแหน่งผู้อนุบาลยังคง มีความต้องการแรงงานต่างชาติ เนื่องจากจำนวนผู้สูงอายุชาวไต้หวันมีมากขึ้น รัฐบาลไม่มีการกำหนดโควต้าการนำเข้าผู้อนุบาลต่างชาติ แต่จำกัดคุณสมบัติ โดยรัฐบาลได้จัดทำกฎหมายคุ้มครองผู้ทำงานในครัวเรือน โดยอยู่ระหว่างการผ่านร่างกฎหมายจากสภา ซึ่งหากมีผลบังคับใช้จะทำให้ความต้องการผู้อนุบาลต่างชาติเพิ่มมากขึ้น

สถานการณ์แรงงานในประเทศสิงคโปร์

จากผลสำรวจของในปี พ.ศ. 2557 ของสำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน พบว่าในปี พ.ศ. 2557 มีจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงาน ซึ่งเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 865 คน คิดเป็นร้อยละ 1.26 ของจำนวนแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด โดยแยกเป็นชาย จำนวน 788 คน (ร้อยละ 1.15) และหญิง จำนวน 77 คน (ร้อยละ 0.11) สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

จำแนกตามภูมิภาค พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศสิงคโปร์มากที่สุด จำนวน 305 คน คิดเป็นร้อยละ 35.26 ของจำนวนแรงงานไทย ที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศสิงคโปร์ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ภาคกลาง จำนวน 174 คน (ร้อยละ 20.12) ภาคใต้ จำนวน 151 คน (ร้อยละ 17.46) ภาคเหนือ จำนวน 129 คน (ร้อยละ 14.91) ภาคตะวันออก จำนวน 86 คน (ร้อยละ 9.94) และภาคตะวันตก จำนวน 20 คน (ร้อยละ 2.31)

จำแนกตามรายจังหวัด พบว่า จังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่มีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุด จำนวน 109 คน คิดเป็นร้อยละ 12.60 รองลงมาได้แก่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 57 คน (ร้อยละ 6.59) หนองคาย จำนวน 56 คน (ร้อยละ 6.47) ชลบุรี จำนวน 44 คน (ร้อยละ 5.09) และสมุทรสาคร จำนวน 43 คน (ร้อยละ 4.97)

จำแนกตามสาขาอาชีพ พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานส่วนใหญ่เป็นสาขาอาชีพผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ จำนวน 338 คน คิดเป็นร้อยละ 39.08 รองลงมาได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานประเภทควบคุมเครื่องจักรและประกอบชิ้นส่วน จำนวน 179 คน (ร้อยละ 20.69) อาชีพพื้นฐานซึ่งเป็นแรงงานด้านการผลิต ก่อสร้าง เกษตร ฯลฯ จำนวน 116 คน (ร้อยละ 13.41) ส่วนช่างเทคนิคและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง และพนักงานบริการ พนักงานขายในร้านค้าและตลาด มีจำนวนเท่ากันคือ 81 คน (ร้อยละ 9.36)

จำแนกตามระดับการศึกษา พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงาน จบการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 6 มากที่สุด จำนวน 313 คน คิดเป็นร้อยละ 36.18 รองลงมา ได้แก่ มัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 196 คน (ร้อยละ 22.66) ปริญญาตรี จำนวน 161 คน (ร้อยละ 18.61) มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 115 คน (ร้อยละ 13.29) และ ปวส. จำนวน 48 คน (ร้อยละ 5.55)

แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์

แรงงานไทยที่ทำงานอยู่ในประเทศสิงคโปร์มีประมาณ 30,000 คน ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานในภาคการก่อสร้างและอู่ต่อเรือ ซ่อมเรือ โดยสถิติแรงงานไทยที่ขออนุมัติเดินทางไปทำงานสิงคโปร์ ในปี พ.ศ. 2557 มีจำนวน 8,191 คน ปี พ.ศ. 2556 จำนวน 10,728 คน ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 11,864

คน ปี พ.ศ. 2554 มีจำนวน 11,461 คน และปี พ.ศ. 2553 จำนวน 12,719 คน ส่วนใหญ่เป็นแรงงานชาย ทำงานในสาขาอาชีพงานพื้นฐาน เช่น คนงานทั่วไป กรรมกรหรือคนทำงานหนัก และทำงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่างๆ เช่น ช่างประกอบท่อ ช่างเชื่อม ช่างไฟฟ้า ช่างเหล็ก ช่างไม้ เป็นต้น

ทั้งนี้แรงงานไทยส่วนใหญ่ที่ทำงานในประเทศสิงคโปร์จะถือใบอนุญาตทำงานประเภท Work Permit ซึ่งจะได้รับอนุญาตให้ทำงานเฉพาะในสาขาก่อสร้าง อู่ต่อเรือ และแม่บ้าน เท่านั้น โดยแรงงานไทยยังคงเป็นที่ต้องการในตลาดแรงงานอย่างสม่ำเสมอ แต่การเดินทางไปทำงานในประเทศสิงคโปร์จะต้องผ่านการสอบทักษะฝีมือแรงงานเบื้องต้น ส่งผลให้แรงงานไทยบางส่วนสนใจเดินทางไปทำงานประเทศอื่นที่มีรายได้สูงกว่าและไม่ต้องสอบทักษะฝีมือ จึงทำให้มีจำนวนแรงงานไทยใหม่ ๆ เดินทางเข้าไปทำงานในประเทศสิงคโปร์ไม่มากนัก นายจ้างบางรายจึงหันไปใช้แรงงานชาติอื่น ๆ หรือดึงแรงงานไทยที่ทำงานกับบริษัทอื่นให้เข้าไปทำงานกับบริษัทตนเอง โดยเพิ่มค่าจ้างหรือปรับแรงงานในระดับ Work Permit เป็นระดับ S-Pass ซึ่งคาดว่า ประเทศสิงคโปร์จะประสบปัญหาขาดแคลนแรงงานก่อสร้างใน 2 ถึง 3 ปีข้างหน้า

สถานการณ์แรงงานในประเทศมาเลเซีย

จากผลสำรวจของในปี พ.ศ. 2557 ของสำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน พบว่า มีจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงาน ซึ่งเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 963 คน คิดเป็นร้อยละ 1.40 ของจำนวนแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด โดยแยกเป็นชาย 627 คน (ร้อยละ 0.91) และหญิง 336 คน (ร้อยละ 0.49) สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

จำแนกตามภูมิภาค พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศมาเลเซียมากที่สุด จำนวน 314 คน คิดเป็นร้อยละ 32.61 ของจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศมาเลเซียทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ภาคกลาง จำนวน 239 คน (ร้อยละ 24.82) ภาคใต้ จำนวน 193 คน (ร้อยละ 20.04) ภาคเหนือ จำนวน 148 คน (ร้อยละ 15.37) ภาคตะวันออก จำนวน 55 คน (ร้อยละ 5.71) และภาคตะวันตก จำนวน 14 คน (ร้อยละ 1.45)

จำแนกตามรายจังหวัด พบว่า กรุงเทพมหานคร เป็นจังหวัดที่มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุด จำนวน 168 คน คิดเป็นร้อยละ 17.45 รองลงมาได้แก่ สงขลา จำนวน 158 คน (ร้อยละ 16.41) นครราชสีมา จำนวน 65 คน (ร้อยละ 6.75) ขอนแก่น จำนวน 39 คน (ร้อยละ 4.05) และหนองบัวลำภู จำนวน 32 คน (ร้อยละ 3.32)

จำแนกตามสาขาอาชีพ พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานส่วนใหญ่เป็นสาขาอาชีพช่างเทคนิคและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 268 คน (ร้อยละ 27.83) รองลงมาได้แก่ผู้ประกอบวิชาชีพด้านต่าง ๆ จำนวน 251 คน (ร้อยละ 26.06) ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานประเภทควบคุมเครื่องจักรและประกอบชิ้นส่วน จำนวน 171 คน (ร้อยละ 17.76) ผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ จำนวน 151 คน (ร้อยละ 15.68) และอาชีพพื้นฐานซึ่งเป็นแรงงานด้านการผลิต ก่อสร้าง เกษตร ฯลฯ จำนวน 83 คน (ร้อยละ 8.62)

จำแนกตามระดับการศึกษา พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานจบการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 6 มากที่สุด จำนวน 369 คน คิดเป็นร้อยละ 38.32 รองลงมา ได้แก่

มัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 182 คน (ร้อยละ 18.90) ปริญญาตรี จำนวน 136 คน (ร้อยละ14.12) มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 128 คน (ร้อยละ 13.29) และ ปวส. จำนวน 90 คน (ร้อยละ 9.35)

แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในประเทศมาเลเซีย

แรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานในประเทศมาเลเซียแบ่งออกเป็น 1) แรงงานไทยที่ทำงานอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ซึ่งจากข้อมูลสำนักงานตรวจคนเข้าเมืองประเทศมาเลเซีย ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 พบว่า มีแรงงานไทยทำงานอยู่ทั้งสิ้น 9,269 คน ซึ่งทำงานในภาคบริการ ได้แก่ พนักงานในร้านอาหารประเภทต้มยา ร้านอาหารประเภทไทยสากล พนักงานโรงแรม รีสอร์ต พนักงานนวดแผนไทย พนักงานรับโทรศัพท์ และแม่บ้าน ภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ พนักงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตเครื่องประดับ ผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ผลิตแหอวน ผลิตเฟอร์นิเจอร์ และผลิตบัตรเครดิต ภาคก่อสร้างจที่ทำงานในโครงสร้างพื้นฐานของรัฐ ได้แก่ ถนน สะพาน ทางยกระดับ ทางด่วน รถไฟฟ้า รวมทั้งโครงการก่อสร้างอาคารสูงพาณิชย์และที่อยู่อาศัย ภาคเกษตรกรรมและการเพาะปลูก ได้แก่ การทำฟาร์มกุ้ง ฟาร์มไก่ของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ นาข้าว สวนปาล์ม สวนยาง และไร่อ้อย เป็นต้น โดยสถิติแรงงานไทยที่ขออนุมัติเดินทางไปทำงานในประเทศมาเลเซียปี พ.ศ. 2557 จำนวน 3,237 คน ปี พ.ศ. 2556 มีจำนวน 3,850 คน ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 4,441 คน ปี พ.ศ. 2554 จำนวน 4,321 คน และปี พ.ศ. 2553 จำนวน 3,630 คน ส่วนใหญ่เป็นการแจ้งการเดินทางไปทำงานด้วยตนเอง และเป็นแรงงานฝีมือและกึ่งฝีมือในภาคก่อสร้างและอุตสาหกรรมการผลิต 2) แรงงานไทยที่ทำงานไม่ถูกต้องตามกฎหมาย คาดว่า มีประมาณ 190,000 คน ส่วนใหญ่เป็นคนไทยมุสลิมใน 5 จังหวัดชายแดนภาคใต้ เดินทางเข้าไปทำงานโดยใช้บัตรผ่านแดน (Border Pass) โดยสามารถอยู่ได้คราวละ 1 เดือน ซึ่งกระจายอยู่ในเมืองชายแดนติดกับประเทศไทยและเมืองหลักต่าง ๆ ของมาเลเซีย แบ่งเป็น พนักงานในร้านอาหารประเภทต้มยา เช่น พนักงานเสิร์ฟ พนักงานล้างจาน ผู้ช่วยกุ๊ก ประมาณ 120,000 คน และพนักงานนวด เกษตรชายแดน การค้าขายชายแดน แม่บ้าน ประมง และอื่น ๆ ประมาณ 70,000 คน

ทั้งนี้รัฐบาลมาเลเซียมีนโยบายเพื่อมุ่งไปสู่การเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว จึงเน้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศเพื่อรองรับการค้าการลงทุน การรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีระดับสูงจากตะวันตก และการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ เพื่อให้มาเลเซียเป็น Knowledge Based Economy ซึ่งได้ประกาศโครงการปฏิรูปเศรษฐกิจในช่วงปี พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2563 คาดว่าจะสามารถสร้างงานได้ประมาณ 3.3 ล้านอัตรา โดยเน้นที่ภาคเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ 12 สาขา คือ 1) อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน 2) อุตสาหกรรมน้ำมันก๊าซ และพลังงาน 3) อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 4) เกษตรกรรม 5) การท่องเที่ยว 6) การศึกษา 7) การบริการทางการแพทย์และสาธารณสุข 8) การบริการธุรกิจ 9) การเงินและการธนาคารอิสลาม 10) การสื่อสาร 11) การค้าปลีกและค้าส่ง และ 12) การพัฒนาพื้นที่ Greater Kuala Lumpur นอกจากนี้ มาเลเซียยังมีความต้องการแรงงานไทยในตำแหน่งผู้ประกอบอาหารและพนักงานนวด เป็นจำนวนมาก

สถานการณ์แรงงานในประเทศญี่ปุ่น

จากผลสำรวจของในปี พ.ศ. 2557 ของสำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน พบว่า มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากไต้หวัน ซึ่งเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 6,508

คน คิดเป็นร้อยละ 9.46 ของจำนวนแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด โดยแยกเป็นชาย 4,186 คน (ร้อยละ 6.08) และหญิง 2,322 คน (ร้อยละ 2.81) สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

จำแนกตามภูมิภาค พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศญี่ปุ่นมากที่สุด จำนวน 2,855 คน คิดเป็นร้อยละ 43.87 ของจำนวนแรงงานไทย ที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศญี่ปุ่นทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ภาคกลาง จำนวน 1,677 คน (ร้อยละ 25.77) ภาคเหนือ จำนวน 988 คน (ร้อยละ 15.18) ภาคตะวันออก จำนวน 772 คน (ร้อยละ 11.86) ภาคใต้ จำนวน 109 คน (ร้อยละ 1.67) และภาคตะวันตก จำนวน 107 คน (ร้อยละ 1.64)

จำแนกตามรายจังหวัด พบว่า จังหวัดอุดรธานีเป็นจังหวัดที่มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุด จำนวน 767 คน คิดเป็นร้อยละ 11.79 รองลงมาได้แก่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 574 คน (ร้อยละ 8.82) ชลบุรี จำนวน 414 คน (ร้อยละ 6.36) สมุทรปราการ จำนวน 334 คน (ร้อยละ 5.13) และนครราชสีมา จำนวน 285 คน (ร้อยละ 4.38)

จำแนกตามสาขาอาชีพพบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานส่วนใหญ่เป็นสาขาอาชีพผู้ปฏิบัติงานในโรงงานประเภทควบคุมเครื่องจักรและประกอบชิ้นส่วน จำนวน 2,564 คน คิดเป็นร้อยละ 39.40 รองลงมาได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ จำนวน 1,176 คน (ร้อยละ 18.07) ผู้ประกอบวิชาชีพด้านต่าง ๆ จำนวน 1,084 คน (ร้อยละ 16.66) ช่างเทคนิคและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 429 คน (ร้อยละ 6.59) และผู้ปฏิบัติงานฝีมือด้านการเกษตรและประมง จำนวน 356 คน (ร้อยละ 5.47)

จำแนกตามระดับการศึกษา พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทาง ไปทำงานจบการศึกษาระดับปริญญาตรีมากที่สุด จำนวน 2,172 คน คิดเป็นร้อยละ 33.37 รองลงมาได้แก่ มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1,462 คน (ร้อยละ 22.46) ปวส. จำนวน 1,113 คน (ร้อยละ 17.10) มัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 946 คน (ร้อยละ 14.54) และ ปวช.จำนวน 561 คน (ร้อยละ 8.62) ตามลำดับ

แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น

ประมาณการจำนวนแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น ตามสถิติกรมตรวจคนเข้าเมืองญี่ปุ่น ณ สิ้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 มีจำนวน 19,880 คน โดยแบ่งเป็นแรงงานถูกกฎหมาย จำนวน 16,180 คน คือ แรงงานฝีมือ (14 สาขา) 2,600 คน พนักงานโยกย้ายภายในบริษัท (บริษัทแม่ - ลูก) 2,600 คน ผู้ฝึกปฏิบัติงานเทคนิค 2,980 คน และแรงงานกลุ่มอื่นที่ได้รับอนุญาตให้ทำงานได้ 8,000 คน และแรงงานผิดกฎหมาย จำนวน 3,700 คน โดยสถิติแรงงานไทยที่ขออนุมัติเดินทางไปทำงานประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2557 มีจำนวน 7,614 คน ปี พ.ศ. 2556 จำนวน 6,904 คน ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 8,596 คน ปี พ.ศ. 2554 จำนวน 9,302 คน และปี พ.ศ. 2553 จำนวน 6,102 คน ส่วนใหญ่เป็นผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ เช่น พนักงานทั่วไป หัวหน้างานทั่วไป ผู้ควบคุมงานผลิต วิศวกร พนักงานฝึกงาน เป็นต้น ซึ่งแนวโน้มความต้องการ การรับแรงงานต่างชาติมีฝีมือคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่จะเพิ่มขึ้นมากในส่วนของผู้ฝึกปฏิบัติงานเทคนิค เพราะโอกาสการได้ส่วนแบ่งตลาดจากผู้ฝึกปฏิบัติงานเทคนิคชาวจีนน่าจะเพิ่มมากขึ้นและขณะนี้ทางการญี่ปุ่นอยู่ระหว่างการ

พิจารณาขยายระยะเวลาการรับผู้ฝึกปฏิบัติงานเทคนิคจากประเทศกำลังพัฒนาจากระยะเวลา 3 ปี เป็น 5 ปี เนื่องจากยังมีปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคการผลิตและการเกษตร

สถานการณ์แรงงานในประเทศอิสราเอล

ในปี พ.ศ. 2557 มีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงาน ซึ่งเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 5,015 คน คิดเป็นร้อยละ 7.29 จากจำนวนแรงงานไทยที่เดินทาง ไปทำงานต่างประเทศทั้งหมด โดยแยกเป็นชาย 4,863 คน (ร้อยละ 7.07) และหญิง 152 คน (ร้อยละ 0.22) สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

จำแนกตามภูมิภาคพบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศอิสราเอลมากที่สุด จำนวน 4,215 คน คิดเป็นร้อยละ 84.05 ของจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานประเทศอิสราเอลทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ จำนวน 712 คน (ร้อยละ 14.20) ภาคกลาง จำนวน 44 คน (ร้อยละ 0.88) ภาคตะวันออก จำนวน 31 คน (ร้อยละ 0.62) ภาคใต้ จำนวน 7 คน (ร้อยละ 0.14) และภาคตะวันตก จำนวน 6 คน (ร้อยละ 0.12)

จำแนกตามรายจังหวัด พบว่า จังหวัดอุดรธานีเป็นจังหวัดที่มีแรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานมากที่สุด จำนวน 1,316 คน คิดเป็นร้อยละ 26.24 รองลงมาได้แก่ หนองคาย จำนวน 421 คน (ร้อยละ 8.39) นครราชสีมา จำนวน 412 คน (ร้อยละ 8.22) นครพนม จำนวน 375 คน (ร้อยละ 7.48) และบุรีรัมย์ จำนวน 276 คน (ร้อยละ 5.50)

จำแนกตามสาขาอาชีพ พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทางานส่วนใหญ่เป็นสาขาอาชีพผู้ปฏิบัติงานฝีมือด้านการเกษตรและประมง จำนวน 4,929 คน คิดเป็นร้อยละ 98.29 รองลงมาได้แก่ พนักงานบริการ พนักงานขายในร้านค้าและตลาด จำนวน 78 คน (ร้อยละ 1.56) ผู้ปฏิบัติงานโดยใช้ฝีมือในธุรกิจต่าง ๆ จำนวน 5 คน (ร้อยละ 0.10) อาชีพงานพื้นฐานซึ่งเป็นแรงงานด้านการผลิต ก่อสร้าง เกษตร ฯลฯ จำนวน 2 คน (ร้อยละ 0.04) และผู้ปฏิบัติงานในโรงงานประเภทควบคุมเครื่องจักรและประกอบชิ้นส่วน จำนวน 1 คน (ร้อยละ 0.02)

จำแนกตามระดับการศึกษา พบว่า แรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 มากที่สุด จำนวน 1,824 คน คิดเป็นร้อยละ 36.37 รองลงมาได้แก่ ประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1,415 คน (ร้อยละ 28.22) มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1,370 คน (ร้อยละ 27.32) ปวส. จำนวน 194 คน (ร้อยละ 3.87) และ ปวช. จำนวน 150 คน (ร้อยละ 2.99)

แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในประเทศอิสราเอล

ในปัจจุบันมีแรงงานไทยที่เข้าไปทำงานประเทศอิสราเอล ประมาณ 26,000 คน โดยสถิติแรงงานไทยที่ขออนุมัติเดินทางไปทำงานในประเทศอิสราเอลในปี พ.ศ. 2557 จำนวน 7,618 คน ปี พ.ศ. 2556 จำนวน 8,393 คน ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 5,059 คน ปี พ.ศ. 2554 จำนวน 9,333 คน และปี พ.ศ. 2553 จำนวน 8,138 คน โดยสัดส่วนของแรงงานต่างชาติในอิสราเอลได้รับอนุญาตให้ทำงาน 4 สาขาหลัก ได้แก่

1). ภาคเกษตร มีแรงงานไทยมากที่สุดประมาณ 21,700 คน คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 95

2). ภาคบริการและร้านอาหารในอิสราเอล มีแรงงานไทยทางานในตำแหน่งคนปรุงอาหาร ประมาณ 500 คน เนื่องจากคนไทยสามารถประกอบอาหารได้หลายชนิด และอิสราเอลอนุญาตให้คนต่างชาติทำงานเป็นผู้ปรุงอาหารได้เฉพาะระดับผู้เชี่ยวชาญในภัตตาคารที่จำหน่ายอาหารต่างชาติเท่านั้น จึงไม่มีการกำหนดโควต้า นอกจากนี้ยังกำหนดเพดานเงินเดือนไว้สูงกว่าค่าจ้างเฉลี่ยทั่วไปถึง 2 เท่า ดังนั้นแม้ว่ารายได้จะดี แต่ก็จะมีการจ้างงานเฉพาะร้านอาหารขนาดใหญ่เท่านั้น

3). ภาคก่อสร้าง ส่วนใหญ่เป็นแรงงานชาติจีน และโรมาเนีย ส่วนแรงงานไทยมีประมาณ 100 คน

4). ภาคบริการดูแลคนชราและผู้พิการ มีแรงงานฟิลิปปินส์ทำงานร้อยละ 75 เนปาลและศรีลังกา ร้อยละ 28 และแรงงานไทยมีประมาณ 200 คน เป็นงานที่ไม่จำกัดจำนวนโควต้าและสามารถต่ออายุวีซ่าได้ หากนายจ้างยังต้องการจ้างงานต่อไป แต่ปัญหาที่มีคนไทยน้อย เพราะไม่สามารถพูดภาษาอังกฤษได้

ทั้งนี้ปัจจุบันรัฐบาลไทยโดยกระทรวงแรงงานและรัฐบาลอิสราเอลโดยสถานเอกอัครราชทูตอิสราเอลประจำประเทศไทย ได้ทำข้อตกลงการจ้างแรงงานไทยทำงานชั่วคราวในภาคเกษตรในประเทศอิสราเอล เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2553 และกรมการจัดหางานและองค์การระหว่างประเทศ เพื่อการโยกย้ายถิ่นฐาน (IOM) ลงนามในความตกลงความร่วมมือเกี่ยวกับการให้บริการขององค์การระหว่างประเทศเพื่อการโยกย้ายถิ่นฐาน เพื่ออำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้ายแรงงานไทยไปทำงานภาคเกษตรในประเทศอิสราเอล ซึ่งเป็นภาคผนวกของข้อตกลงระหว่างรัฐบาลไทยกับรัฐบาลอิสราเอล เมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554 ส่งผลให้การจัดส่งแรงงานไทยไปทำงานภาคเกษตรในอิสราเอลต้องดำเนินการภายใต้โครงการความร่วมมือไทย-อิสราเอล เพื่อการจัดหางาน (Thailand – Israel Cooperation on the Placement of Workers: TIC) รุ่นแรก ทั้งนี้ กรมการจัดหางานได้จัดส่งคนหางานไปทำงานอิสราเอลภายใต้โครงการ TIC ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน (4 ธันวาคม พ.ศ. 2557) จำนวน 12,318 คน

สถานการณ์ตลาดแรงงานไทยในประเทศอื่น ๆ

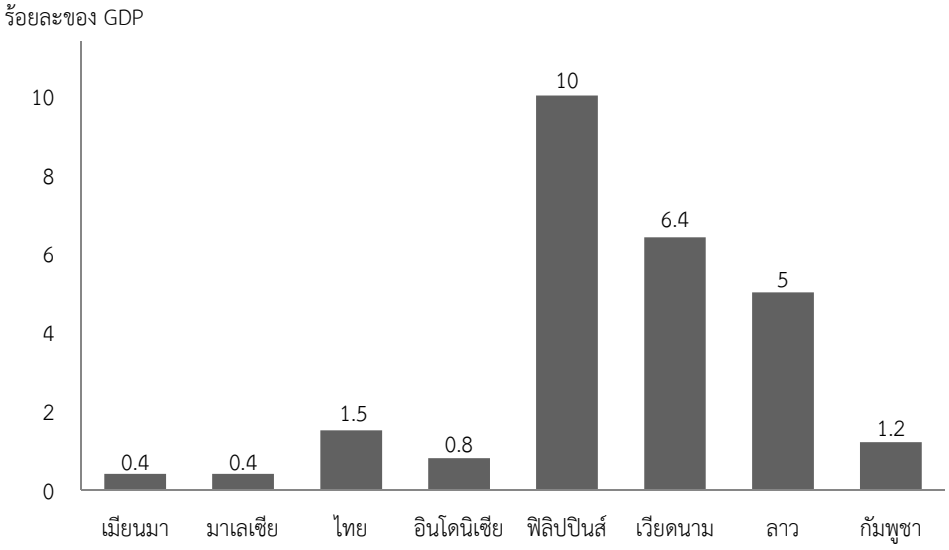
แรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศโดยผ่านช่องทางต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว หากพิจารณาถึงตลาดแรงงานและโอกาสของแรงงานไทยในต่างประเทศแล้วพบว่า ในปี พ.ศ. 2557 กลุ่มประเทศที่มีแรงงานไทยเดินทางไปทำงานมากที่สุด คือ กลุ่มประเทศในภูมิภาคเอเชีย (ร้อยละ 67.09) รองลงมาคือ กลุ่มประเทศตะวันออกกลาง (ร้อยละ 16.66) และยุโรป (ร้อยละ 9.38) ตามลำดับ และส่วนใหญ่ยังคงเดินทางไปทำงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ภาคก่อสร้าง ภาคเกษตร และภาคบริการ ซึ่งตำแหน่งงานที่มีแรงงานไทยทำงานมากที่สุด ได้แก่ พนักงานฝ่ายการผลิต คนงานเกษตร กรรมกรและหรือคนงานทั่วไป ผู้ปรุงอาหาร ช่างเชื่อม และพนักงานนวดแผนโบราณ โดยเป็นการแจ้งการเดินทางกลับเข้าไปทำงานใหม่ (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) มากที่สุด (ร้อยละ 42.44) รองลงมาเป็นบริษัทจัดหางานจัดส่ง (ร้อยละ 29.92) และนายจ้างพาลูกจ้างไปทำงาน/ ฝึกงาน (ร้อยละ 9.83) ทั้งนี้ เดินทางไปทำงานในไต้หวันมากที่สุด รองลงมาเป็นสาธารณรัฐเกาหลี สิงคโปร์ อิสราเอล ญี่ปุ่น และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ตามลำดับ ทั้งนี้โอกาสของแรงงานไทยในการเดินทางไปทำงานต่างประเทศยังคงมีแนวโน้มเป็นบวก เนื่องจากแรงงานไทยยังคงเป็นที่ต้องการของนายจ้างในต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะแรงงานประเภทฝีมือและกึ่งฝีมือที่มีแนวโน้มความต้องการเพิ่ม

มากขึ้นในประเทศในภูมิภาคตะวันออกกลาง ได้แก่ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ กาตาร์ คูเวต เป็นต้น ส่วนแรงงาน ประเภทไร้ฝีมือคาดว่าจะมีความต้องการคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยใน สาธารณรัฐเกาหลี อย่างไรก็ตาม โอกาสของแรงงานไทยก็ยังคงมีข้อจำกัดหลายด้าน อาทิเช่น ข้อจำกัดด้านภาษาต่างประเทศ นโยบายการรับแรงงานต่างชาติของประเทศผู้รับแรงงาน และการแข่งขันกันด้านแรงงาน เป็นต้น (กองบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน, 2559)

รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

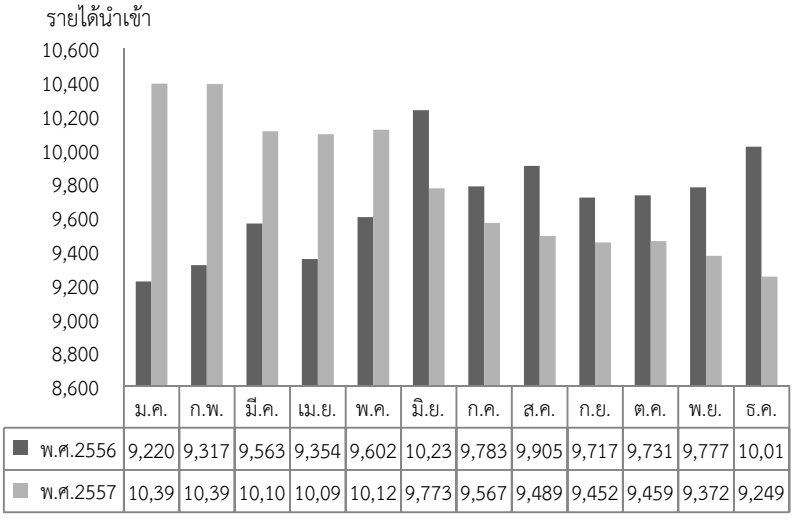
การส่งเสริมแรงงานเพื่อไปทำงานในต่างประเทศเป็นการทำให้แรงงานมีรายได้จากการทำงานและมีการส่งรายได้กลับไปยังประเทศบ้านเกิดของตนเอง โดยจำนวนรายได้ส่งกลับในปัจจุบันสำหรับบางประเทศนั้นถือเป็นหนึ่งในรายได้หลักที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้ได้มีผลการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่รายงานความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างจำนวนรายได้นำเข้าประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยประเทศในกลุ่มอาเซียนฟิลิปปินส์เป็นประเทศหนึ่ง ที่มีความโดดเด่นทางการเคลื่อนย้ายแรงงานไปทำงานยังต่างประเทศ ทั้งภายในอาเซียนด้วยกันเอง เช่น ในประเทศสิงคโปร์และภายนอกภูมิภาค เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา ขณะเดียวกันรายได้ที่นำเข้าประเทศมีจำนวนที่สูงมากจนกระทั่งสามารถมีผลกระทบต่อระดับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศได้ โดยแรงงานประเทศฟิลิปปินส์ส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพแม่บ้าน พยาบาล ครูสอนภาษาอังกฤษ เป็นต้น ขณะที่แรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานยังต่างประเทศนั้น จากข้อมูลของกรมการจัดหางานในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 พบว่า ส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพเป็นผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน ผู้ควบคุมเครื่องจักร และผู้ปฏิบัติงานด้านการประกอบ (ศูนย์ข้อมูลข่าวสารอาเซียน กรมประชาสัมพันธ์, 2559)

จากรายงานผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแรงงานในกลุ่มอาเซียน โดยองค์การแรงงานระหว่างประเทศ (Internationa Labour Organization: ILO) ได้มีการสรุปจำนวนรายได้ที่นำเข้าประเทศของแรงงานจากชาติสมาชิกอาเซียนพบว่า แรงงานจากประเทศฟิลิปปินส์มีรายได้ที่นำเข้าประเทศคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 10 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) รองลงมาได้แก่ เวียดนาม ซึ่งปัจจุบันมีรายได้ส่งกลับประเทศอยู่ในระดับสูง โดยอยู่ที่ร้อยละ 6.4 ของ GDP ตามมาด้วยประเทศไทยที่ร้อยละ 1.5 ของ GDP ขณะที่ประเทศอื่น ๆ ในอาเซียนยังคงมีสัดส่วนไม่มากนัก โดยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.4 ถึง 1.2 ของ GDP เท่านั้น (ศูนย์ข้อมูลข่าวสารอาเซียน กรมประชาสัมพันธ์, 2559) ดังแสดงตามภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 ร้อยละ GDP ของเงินนำเข้าจากแรงงานในประเทศกลุ่มอาเซียน

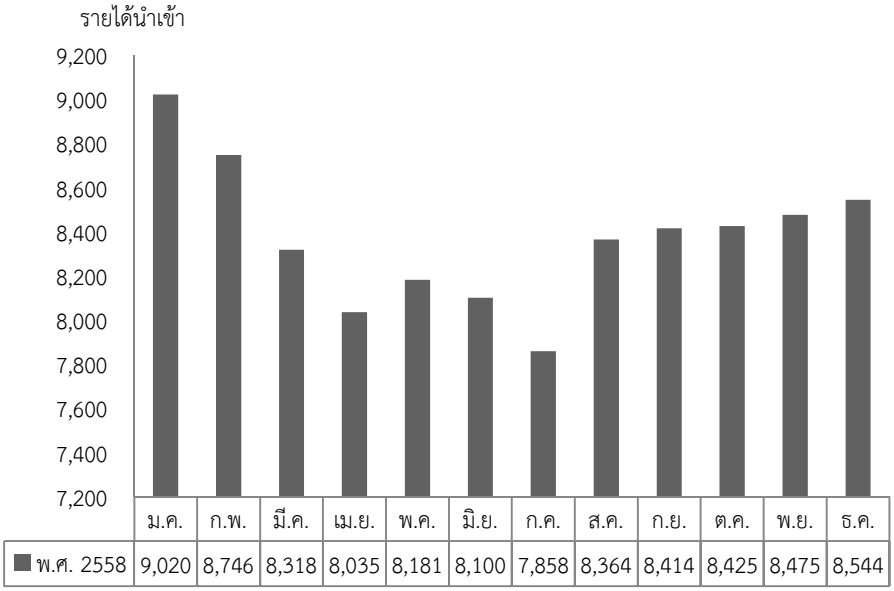
สำหรับรายได้ที่นำเข้าประเทศประเทศเป็นรายได้ที่แรงงานไทยส่งเงินกลับประเทศผ่านระบบธนาคาร ที่รวบรวมโดยธนาคารแห่งประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2557 แรงงานไทยในต่างประเทศได้ส่งเงินกลับประเทศผ่านระบบธนาคาร จำนวน 90,633 ล้านบาท ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2556 พบว่า มีจำนวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.94 ซึ่งจากภาพที่ 2-20 จะแสดงเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย จำแนกเป็นรายเดือน ที่เปรียบเทียบกันระหว่างปี พ.ศ. 2557 เปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2556 และมีเงินรายได้ที่นำเข้าประเทศในปี พ.ศ. 2558 แสดงตามภาพที่ 2-21



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
พ.ศ.2556	9,220	9,317	9,563	9,354	9,602	10,23	9,783	9,905	9,717	9,731	9,777	10,01
พ.ศ.2557	10,39	10,39	10,10	10,09	10,12	9,773	9,567	9,489	9,452	9,459	9,372	9,249

ภาพที่ 2-20 จำนวนเงินนำเข้ารายเดือนของแรงงานไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557

โดยในปี พ.ศ. 2558 มีรายได้ที่นำเข้าประเทศแสดงตามภาพที่ 2-23



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
พ.ศ. 2558	9,020	8,746	8,318	8,035	8,181	8,100	7,858	8,364	8,414	8,425	8,475	8,544

ภาพที่ 2-21 จำนวนเงินนำเข้ารายเดือนของแรงงานไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2558

นอกจากนี้ศูนย์ข้อมูลข่าวสารเพื่อสิทธิพลเมือง (2560) ยังได้กล่าวถึงรายงานของนายสิงหเดช ชูอำนาจ อธิบดีกรมการจัดหางาน เมื่อวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2559 โดยระบุว่า ตลอดปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนแรงงานไทยที่ได้รับอนุญาตจากกรมการจัดหางานกระทรวงแรงงานให้เดินทางไปทำงานต่างประเทศและยังคงทำงานอยู่ในต่างประเทศจำนวนทั้งสิ้น 114,437 คน แบ่งเป็นเดินทางด้วยตนเอง จำนวน 10,640 คน จัดส่งโดยกรมการจัดหางาน จำนวน 12,931 คน นายจ้างพาลูกจ้างไปทำงาน จำนวน 7,276 คน นายจ้างส่งลูกจ้างไปฝึกงาน จำนวน 4,446 คน บริษัทจัดส่ง จำนวน 33,124 คน และเป็นการเดินทางครั้งแรก (ไม่รวมที่กลับมาทำงานใหม่) จำนวน 46,020 คน

ทั้งนี้แรงงานไทยได้รับอนุญาตให้เดินทางไปทำงานในไต้หวันมากที่สุด จำนวน 35,027 คน รองลงมาเป็นเกาหลีใต้ จำนวน 12,590 คน ประเทศอิสราเอล จำนวน 8,629 คน ประเทศญี่ปุ่น จำนวน 8,610 คน และประเทศสิงคโปร์ จำนวน 5,843 คน ตามลำดับ ซึ่งการสนับสนุนให้คนไทยไปทำงานต่างประเทศสามารถสร้างรายได้ส่งกลับมาผ่านระบบธนาคารแห่งประเทศไทย จนถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เป็นเงินจำนวน 112,997 ล้านบาท โดยในเดือนมีนาคม กันยายน และตุลาคม มีรายได้ส่งกลับเกินเดือนละประมาณ 1 หมื่นล้าน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงงานไทยในต่างประเทศ รายได้นำเข้าประเทศ

สุเทพ พันประสิทธิ์, วรุณพันธ์ คงสม และชนาธิป มิธิดา (2552) ได้วิเคราะห์ลักษณะการประกอบกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ชีวิตความเป็นอยู่ของแรงงานไทยในมาเลเซียอันได้แก่ รายได้จากการประกอบอาชีพ การบริโภค และการส่งรายได้กลับมาประเทศไทยพบว่า มีความสัมพันธ์สูงในระดับ 0.851 ระหว่างรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ค่าหัวการเข้าไปทำงานในประเทศมาเลเซีย ค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตในประเทศมาเลเซีย และเงินส่งกลับประเทศไทย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เจษฎา เงินดี และปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์ (2556) ศึกษาผลของโครงสร้างเศรษฐกิจและสังคมต่อระดับ รายได้ และจำนวนชั่วโมงการทำงานของแรงงานไทย โดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติใน 4 ช่วงเวลา คือ ปี พ.ศ. 2548, 2549, 2550 และ 2553 จากตัวอย่าง 23,581 คนเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลองของ Heckman แล้วทำการประมาณค่าด้วยวิธี Full Maximum Likelihood พบว่า ตัวแปรสถานภาพสมรส จำนวนเด็กเล็ก และระดับการศึกษาส่งผลให้แรงงานมีระดับรายได้มากขึ้น นอกจากนั้นประสบการณ์ศักยภาพทำงานยังส่งผลให้แรงงานมีระดับรายได้มากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นจะมีสัดส่วนที่ลดลงตามประสบการณ์หรือศักยภาพที่เพิ่มขึ้น และในแบบจำลองชั่วโมงการทำงานพบว่า สถานภาพสมรส จำนวนเด็กเล็ก และรายได้ส่งผลให้แรงงานมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น แต่อายุและระดับการศึกษาส่งผลให้จำนวนชั่วโมง การทำงานของแรงงานลดลง เมื่อแยกวิเคราะห์ตามเพศพบว่า ผลการศึกษามีความแตกต่างกัน โดยสถานภาพสมรสส่งผลให้มีระดับรายได้เพิ่มขึ้นในเพศชาย แต่ลดลงในเพศหญิง และจำนวนเด็กเล็กที่อยู่ในการดูแลของกลุ่มตัวอย่างส่งผลให้ระดับรายได้ของเพศชายลดลง แต่เพศหญิงเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแบบจำลองชั่วโมงการทำงานพบว่า ตัวแปรอายุส่งผลให้ชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้นในเพศชาย แต่ลดลงในเพศหญิง และจำนวนเด็กเล็กส่งผลให้ชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้นในเพศชาย แต่ลดลงในเพศหญิง

ยงยุทธิ์ แฉล้มวงค์ (2560) ได้กล่าวถึงภาวะเศรษฐกิจกับการจ้างแรงงานไทยในปัจจุบันโดยระบุว่า การที่ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจค่อนข้างต่ำต่อเนื่องมาหลายปี ย่อมมีผลต่อเนื่องถึงการจ้างงานในตลาดแรงงาน ซึ่งไทยมีกำลังแรงงานในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ประมาณ 37.8 ล้านคน ถือเป็นลำดับที่ 4 ของอาเซียนรองจากประเทศอินโดนีเซีย ประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศเวียดนาม ทั้งนี้พบว่าตลาดแรงงานของไทยเริ่มมีกำลังแรงงานลดลง โดยปี พ.ศ. 2559 มีกำลังแรงงาน 38.7 ล้านคน ปัจจุบันเหลือ 37.8 ล้านคน หายไปจากตลาดประมาณ 1 ล้านคน การที่กำลังแรงงานลดลง แต่ความต้องการแรงงานในภาคเศรษฐกิจส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานแบบเข้มข้น ทำให้ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับปัญหาความต้องการแรงงานเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 3 แสนคน นอกจากนี้ยังกล่าวถึงความต้องการแรงงานในยุคไทยแลนด์ 4.0 ที่เป็นแรงงานระดับกลางในสายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2568 ว่ามีการเติบโตค่อนข้างช้ามากจาก 7 แสนคน เป็น 1 ล้านคน หรือเติบโตเพียงปีละ 3 หมื่นคน ขณะที่แนวโน้มแรงงานไทยในระดับ ปวส. และอนุปริญญาเติบโตจาก 1 ล้านคน เป็น 1.1 ล้านคนเท่านั้น ซึ่งแรงงานในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นแรงงานในกลุ่ม STEM (วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์และสถิติ) ซึ่งเป็นแรงงานพื้นฐานของเศรษฐกิจตามแนวทางไทยแลนด์ 4.0 และเศรษฐกิจดิจิทัล

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบแนวโน้มการวิจัยที่เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ และจำนวนแรงงานงานไทยในต่างประเทศ ทั้งยังได้มีงานวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานงานไทยในประเทศต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่รวบรวมโดยสำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน และฐานข้อมูลรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ของธนาคารแห่งประเทศไทย ที่พบลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ และจำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศจะส่งผลต่อรายได้

นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศกับรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ เพื่อนำความสัมพันธ์นี้มาสร้างสมการพยากรณ์รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จากจำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศที่มีความเหมาะสมที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ โดยจะเปรียบเทียบตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้กับตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้สถานการณ์จำลอง จำนวน 540 สถานการณ์ โดยตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จะนำมาสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ซึ่งแบ่งการดำเนินงานเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ระยะที่ 2 การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S

ระยะที่ 3 การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

สำหรับระยะที่ 1 เป็นการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 คือการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ที่มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีตัวประมาณค่า S เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งวิธีตัวประมาณค่า S เป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีความแกร่ง ที่พัฒนาจากวิธีตัวประมาณค่า M (Susanti, Pratiwi, Sulistijowati, & Liana, 2014, p. 354) โดยหลักการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S เป็นการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่น้อยที่สุด (Montgomery et al. 2006, pp. 388) ดังนี้

$$\min_{\underline{\beta}} \hat{\sigma}_S(r_1, r_2, \ldots, r_n)$$

เมื่อ $\hat{\sigma}_S = s(r_1, r_2, \ldots, r_n) = s$ สามารถคำนวณค่า s ได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\rho\left(\frac{r_i}{s}\right) = K \qquad (3.1)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่ และ ρ เป็นฟังก์ชันของส่วนเหลือ หรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของสมการ 3.1 ที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง มีสมบัติสมมาตร และมีค่า $\rho(0) = 0$ ทั้งนี้ต้องหาค่าคงที่ $c > 0$ ที่ทำให้ ρ มีความต่อเนื่องบนช่วง $[0, c]$ และ $[c, \infty]$ และค่า $\frac{K}{\rho(c)} = \frac{1}{2}$ โดย Rousseeuw and Leroy (2003, p. 136) ได้แนะนำให้ใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกีเป็นฟังก์ชันส่วนเหลือที่ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งมีลักษณะของฟังก์ชันดังนี้

$$\rho(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^4} & ; \ |u_i| \le c \\ \frac{c^6}{6} & ; \ |u_i| > c \end{cases}$$

เมื่อ $u_i = \frac{r_i}{s}$ เป็นส่วนเหลือมาตรฐาน หาก $\frac{K}{\rho(c)} = \frac{1}{2}$ แสดงว่าเป็นการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยภายใต้จุดเปลี่ยนข้อมูล 50% ซึ่งจะได้ค่า K ที่นำไปใช้สำหรับหาค่า s จากสมการที่ 3.1 เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ ทั้งนี้สามารถคำนวณค่า K ได้จากค่าคาดหมาย (Expected Value) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือ $E_{\Phi}(\rho(u))$ เมื่อ u มีการแจกแจงปรกติมาตรฐาน Φ (Rousseww & Leroy, 1987, pp. 135-139) สำหรับขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S จะใช้วิธี IRLS เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้นจากวิธี LS เป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นจะคำนวณส่วนเหลือและค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่ามัธยฐานส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ หรือค่า *MAD*

ค่า *MAD* เป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์กำหนดสเกลที่มีความแกร่งค่าหนึ่ง ภายใต้จุดเปลี่ยนข้อมูล 50% และฟังก์ชันเพียงพอที่มีขอบเขตจำกัด แต่ค่า *MAD* เป็นตัวประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพประมาณ 37% เมื่อใช้กับค่าสังเกตที่มีการแจกแจงแบบเกาส์เซียน หรือแบบปรกติ ซึ่งลักษณะการคำนวณจะเป็นแบบสมมาตร คือเป็นการวัดระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่เป็นค่ามัธยฐานไปทางด้านลบและบวกที่ใช้ได้ไม่ดีกับลักษณะการแจกแจงแบบเบ้มาก ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาวิธีการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือวิธีอื่นแทนการใช้ค่า *MAD* ในขั้นตอนแรกของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S จากวิธี IRLS จึงถือได้ว่าเป็นการพัฒนาวิธีตัวประมาณค่า S ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับค่าสถิติที่นำมาใช้แทนค่า *MAD*

การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสถิติที่นำมาใช้แทนค่า *MAD* นี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดของค่า Q_n ร่วมกับระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) และวิธีต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree: MST) ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม (Prim's Algorithm) ที่จะนำมาคำนวณค่าสถิติใหม่ โดยสามารถอธิบายแนวคิดดังกล่าวได้ดังนี้

2.1 แนวคิดของค่า Q_n

ค่า Q_n เป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์กำหนดสเกลที่แกร่ง ภายใต้จุดเปลี่ยนข้อมูล 50% เช่นเดียวกับค่า *MAD* พัฒนาครั้งแรกโดย Rousseeuw and Croux (1993) โดยใช้หลักการหาความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตที่เลือกมา 2 ค่าใด ๆ (Stanimirova, Daszykowski, and Walczak, 2006, p. 174; Ahmed Abu-Shawiesh, Banik, 2011, p. 85) แสดงได้ ดังนี้

$$Q_n = d\{|x_i - x_j| \ ; i<j\}_{(k)}$$

เมื่อ d เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับการแจกแจงของค่าสังเกต

k เป็นจำนวนค่าสังเกตที่ถูกเลือกมามีค่าเท่ากับ $\binom{h}{2}$ มีค่าประมาณ $\binom{n}{2}/4$

h เป็นจำนวนค่าสังเกตมีค่าเท่ากับ $\frac{n}{2}+1$

2.2 แนวคิดของวิธี *MST* ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม

วิธี *MST* ของค่าน้ำหนักกราฟต้นไม้ (Tree Graph) คือ ค่าจุดและขอบทั้งหมดของกราฟต้นไม้ที่ให้ผลรวมของน้ำหนักมีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าน้ำหนักสามารถแทนได้จากระยะห่างระหว่างโหนด หรือจุด 2 จุดใด ๆ ซึ่งอาจจะเป็นระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) หรือระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) (Krischetein, Liebscher, & Becker, 2013, p. 178) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะทางแบบยุคลิดมาเป็นค่าน้ำหนัก แทนด้วย $d_{i,j}$ ดังนี้

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

เมื่อ (x_i, y_i) และ (x_j, y_j) พิกัดจุดค่าสังเกตที่ i และ j ตามลำดับ

ขั้นตอนการสร้างกราฟต้นไม้ที่มีค่าผลรวมของน้ำหนักน้อยที่สุด หรือ *MST* ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม เริ่มต้นจากการคำนวณค่าขอบ หรือระยะทางแบบยุคลิดระหว่างจุดเริ่มต้นหรือจุดที่กำหนดกับจุดอื่นทุกจุด จากนั้นจะบันทึกค่าขอบที่น้อยที่สุดและพิกัดจุดที่ให้ค่าขอบที่น้อยที่สุดนี้ให้คำนวณค่าระยะทางแบบยุคลิดระหว่างจุดที่บันทึกนี้กับจุดอื่น ๆ ที่เหลือ โดยให้บันทึกค่าขอบที่มี

ค่าน้อยที่สุด และทำซ้ำโดยให้บันทึกค่าขอบที่น้อยที่สุดทีละขอบที่อยู่ห่างจากจุดปลายล่าสุดที่ได้ จนกระทั่งได้ครบทุกจุด ซึ่งจะได้กราฟที่มีผลรวมของค่าน้ำหนักน้อยที่สุด ทั้งนี้ลักษณะของกราฟที่ได้ต้องไม่เป็นกราฟวัฏจักร (Johnsonbaugh, 2009, p. 462)

จากหลักการของค่า Q_n ที่คำนวณจากค่าสังเกตที่ถูกเลือกมาทีละคู่ และใช้หลักการของวิธี *MST* ที่นำระยะทางแบบยุคลิดมาเป็นค่าน้ำหนัก ที่นำมาพิจารณาเลือกค่าสังเกตทีละคู่ที่นำมาเปรียบเทียบกัน จึงได้ตัวประมาณค่าใหม่ที่พัฒนาขึ้นคือ ค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกต ที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุด (Differential of Selected Observation by Minimum Spanning Tree: *DMST*) ดังนี้

$$DMST = med\left\{\left|x_i^* - x_j^*\right|\right\}$$

เมื่อ x_i^* และ x_j^* คือ ค่าสังเกตที่ i และ j ที่เลือกมาจากวิธี *MST*

ทั้งนี้ค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติคล้ายกับค่า *MAD* คือ มีสมบัติการเป็นตัวประมาณค่าภายใต้จุดเปลี่ยนข้อมูล 50% และฟังก์ชันเพียงพอที่มีขอบเขตจำกัด และมีสมบัติ Affine Equivariance ซึ่งค่า *DMST* จะนำไปใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ ที่แสดงได้ใหม่ดังนี้

$$DMST = med\left\{\left|r_i^* - r_j^*\right|\right\}$$

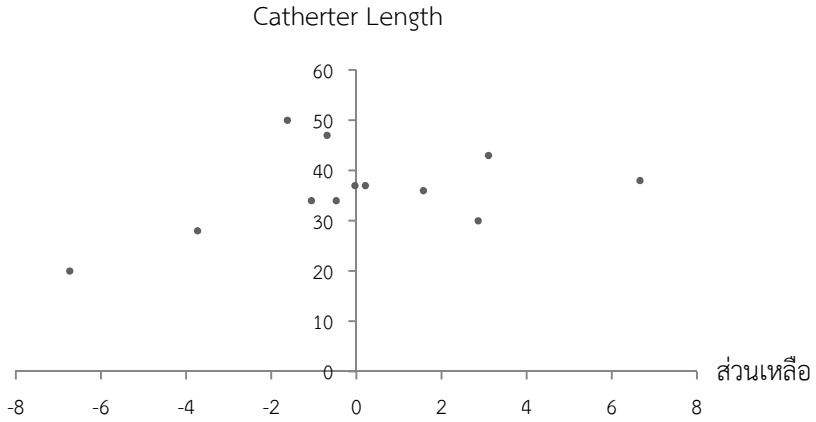
เมื่อ *med* คือค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่ i หรือ r_i^* และส่วนเหลือที่ j หรือ r_j^* ที่เลือกมาจากระยะทางแบบยุคลิด และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม ซึ่งแสดงการคำนวณได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การคำนวณค่า*DMST* และ *MAD* จากข้อมูล “Heart Catheterization” ที่วัดจากผู้ป่วยจำนวน 12 ราย โดยให้ตัวแปรเกณฑ์คือ Catheter Length ที่ขึ้นอยู่กับส่วนสูงและน้ำหนัก (Weisberg, 1980, p. 218; Chambers, Cleveland, Kleiner, & Tukey, 1983, p. 310) อ้างอิงใน Rausseeuw and Leroy (2003, p. 103) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่า *DMST* และ *MAD* จากข้อมูล Heart Catheterization

ค่าสังเกตที่	ความสูง (x_1)	น้ำหนัก (x_2)	Catheter Length (y)	ส่วนเหลือ
1	42.80	40.00	37.00	-0.040
2	63.50	93.50	50.00	-1.626
3	37.50	35.50	34.00	-1.063
4	39.50	30.00	36.00	1.567
5	45.50	52.00	43.00	3.098
6	38.50	17.00	28.00	-3.738
7	43.00	38.50	37.00	0.205
8	22.50	8.50	20.00	-6.742
9	37.00	33.00	34.00	-0.480
10	23.50	9.50	30.00	2.856
11	33.00	21.00	38.00	6.657
12	58.00	79.00	47.00	-0.696

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จากสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธี LS คือ Catheter Length = 20.376 + 0.211 height + 0.191 weight เมื่อพล็อตจุดระหว่างค่า Catheter Length กับส่วนเหลือได้ตามภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนเหลือกับค่า Catheter Length

การคำนวณค่า *MAD*

วิธีการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *MAD* แสดงได้ดังนี้

$$MAD = median \left| r_i - median\,(r_i) \right|$$

วิธีการคำนวณเริ่มจากคำนวณค่ามัธยฐานของส่วนเหลือได้ค่าเท่ากับ -0.26 จากนั้นคำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือกับมัธยฐานของส่วนเหลือ ดังนี้

ส่วนเหลือ(r_i)	$r_i - median\,(r_i)$	$\lvert r_i - median\,(r_i) \rvert$
-0.04	0.22	0.22
-1.626	-1.366	1.366
-1.063	-0.803	0.803
1.567	1.827	1.827
3.098	3.358	3.358
-3.738	-3.478	3.478
0.205	0.465	0.465
-6.742	-6.482	6.482
-0.48	-0.22	0.22
2.856	3.116	3.116
6.657	6.917	6.917
-0.696	-0.436	0.436

เมื่อคำนวณค่ามัธยฐานของ $\left|r_i\text{-}median\,(r_i)\right|$ จะได้ *MAD* = 1.5965

การคำนวณค่า *DMST*

วิธีการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *DMST* มีขั้นตอน ดังนี้

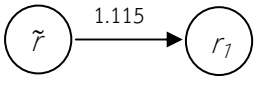
ขั้นที่ 1 คำนวณค่ามัธยฐานของส่วนเหลือ ($\tilde{r}$) มีค่าเท่ากับ -0.260 ซึ่งมีพิกัด (x, y) เป็น (-0.260, 35.907)

ขั้นที่ 2 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง (-0.260, 35.907) กับจุดอื่น ๆ ที่เหลือได้ดังนี้

จุดที่	Catheter length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
1	37	-0.04	1.115**
2	50	-1.626	14.159
3	34	-1.063	2.069
4	36	1.567	1.829
5	43	3.098	7.84
6	28	-3.738	8.638
7	37	0.205	1.188
8	20	-6.742	17.177
9	34	-0.48	1.920**
10	30	2.856	6.678
11	38	6.657	7.227
12	47	-0.696	11.102

หมายเหตุ ** ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด

เลือกส่วนเหลือที่มีระยะทางยุคลิดน้อยที่สุด ในที่นี้ r_1 เป็นส่วนเหลือที่มีระยะทางยุคลิดน้อยที่สุด



ขั้นที่ 3 คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือ $\tilde{r}$ และ r_1

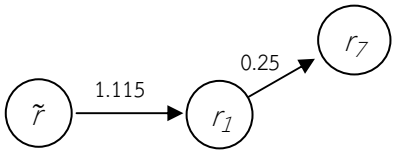
$$|\tilde{r} - r_1| = |-0.260-(-0.040)|=0.220$$

ขั้นที่ 4 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง r_1 ที่มีพิกัดจุด (-0.260, 35.907) กับส่วนเหลืออื่น

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	13.10
3	34	-1.063	3.17
4	36	1.567	1.89
5	43	3.098	6.77
6	28	-3.738	9.73
7	37	0.205	0.25**
8	20	-6.742	18.27
9	34	-0.480	3.03
10	30	2.856	7.58
11	38	6.657	6.77
12	47	-0.696	10.02

หมายเหตุ ** ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด

ขั้นที่ 5 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 กับค่า r_1 ในขั้นที่ 4 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด ในที่นี้จะได้ระยะทางยุคลิดระหว่าง r_1 กับ r_7 มีค่าน้อยที่สุด



จากนั้นให้คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือ r_1 กับ r_7

$$|r_1 - r_7| = |-0.040 - 0.205| = 0.245$$

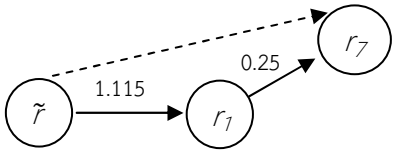
ขั้นที่ 6 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง r_7 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	13.128
3	34	-1.063	3.257
4	36	1.567	1.690**
5	43	3.098	6.661
6	28	-3.738	9.826
-	-	-	-
8	20	-6.742	18.365
9	34	-0.480	3.077
10	30	2.856	7.485
11	38	6.657	6.529
12	47	-0.696	10.041

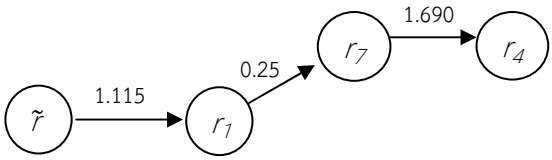
หมายเหตุ ** ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด

ขั้นที่ 7 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 และr_7ใน ขั้นที่ 6 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด ในที่นี้จะได้ระยะทางยุคลิดระหว่าง r_7 กับ r_4 มีค่าน้อยที่สุด

หมายเหตุ ในขั้นตอนนี้จะไม่สามารถเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า $\tilde{r}$ และ r_7 เพราะทำให้กราฟที่ได้เป็นวัฏจักร



ดังนั้น จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_7 กับ r_4



คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้

$$|r_7 - r_4| = |0.205-1.567| = 1.362$$

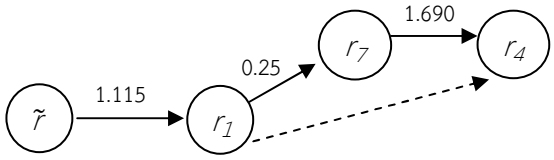
ขั้นที่ 8 หาค่าระยะทางยุคลิดระหว่าง r_4 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	14.360
3	34	-1.063	3.304
-	-	-	-
5	43	3.098	7.165
6	28	-3.738	9.599
-	-	-	-
8	20	-6.742	18.029

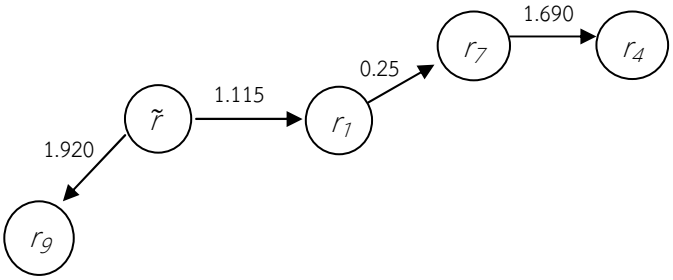
จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
9	34	-0.480	2.862
10	30	2.856	6.137
11	38	6.657	5.469
12	47	-0.696	11.230

ขั้นที่ 9 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ใน ขั้นที่ 6 และ r_4 ในขั้นที่ 8 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด

หมายเหตุ ในขั้นตอนนี้จะไม่สามารถเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_1 และ r_4 ถึงแม้จะมีระยะทางยุคลิดน้อยที่สุดเพราะจะทำให้กราฟที่ได้เป็นวัฏจักร



ดังนั้น จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า $\tilde{r}$ กับ r_9



คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้

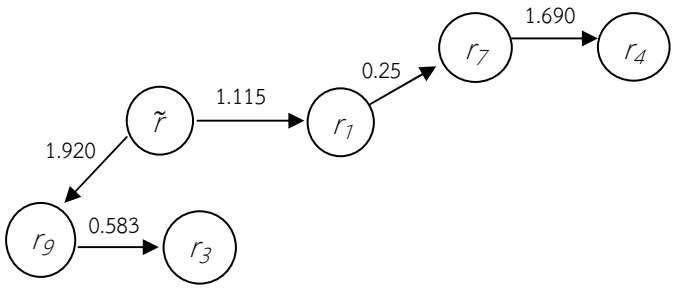
$$|\tilde{r} - r_9| = |-0.260-(-0.480)| = 0.220$$

ขั้นที่ 10 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง r_9 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	16.041
3	34	-1.063	0.583
-	-	-	-
5	43	3.098	9.685
6	28	-3.738	6.827
-	-	-	-
8	20	-6.742	15.337
-	-	-	-
10	30	2.856	5.209
11	38	6.657	8.181
12	47	-0.696	13.002

ขั้นที่ 11 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 และ r_9 ในขั้นที่ 10 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด

ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_9 กับ r_3



คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

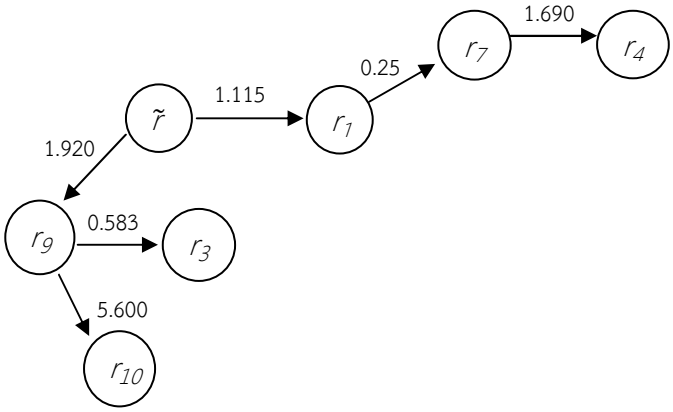
$$|r_3 - r_9| = |-0.480-(-1.063)| = 0.583$$

ขั้นที่ 12 คำนวณค่าระยะทางยุคลิดระหว่าง r_3 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	16.010
-	-	-	-
-	-	-	-
5	43	3.098	9.915
6	28	-3.738	6.569
-	-	-	-
8	20	-6.742	15.108
-	-	-	-
10	30	2.856	5.600
11	38	6.657	8.695
12	47	-0.696	13.005

ขั้นที่ 13 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 และ r_3 ในขั้นที่ 12 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร

ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_9 กับ r_{10}



คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

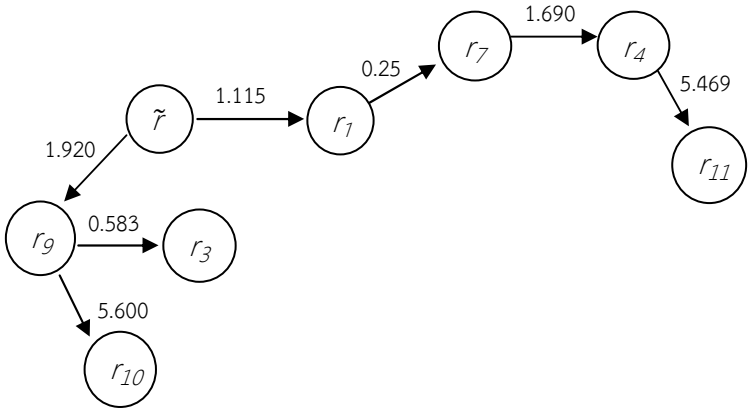
$$|r_9 - r_{10}| = |-0.480-(2.856)| = 3.336$$

ขั้นที่ 14 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง r_{10} กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	20.496
-	-	-	-
-	-	-	-
5	43	3.098	13.002
6	28	-3.738	6.891
-	-	-	-
8	20	-6.742	13.861
-	-	-	-
-	-	-	

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
11	38	6.657	8.857
12	47	-0.696	17.367

ขั้นที่ 15 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 และ r_{10} ในขั้นที่ 14 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_4 กับ r_{11} ในขั้นที่ 8



คำนวณค่าสัมบูรณ์

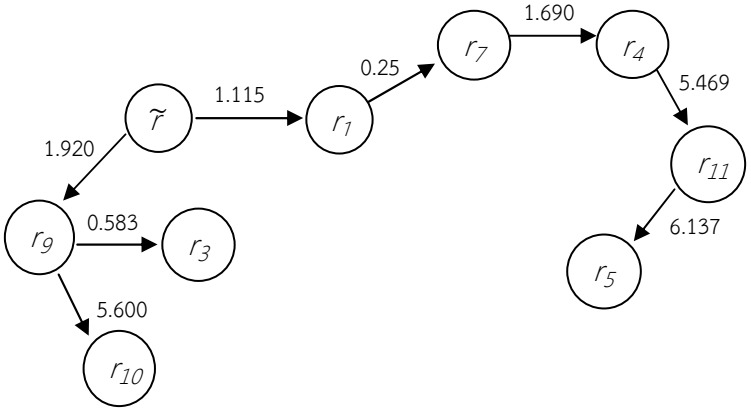
$$|r_4 - r_{11}| = |1.567-6.657| = 5.090$$

ขั้นที่ 16 คำนวณค่าระยะทางยุคลิดระหว่างพิกัดของ r_{11} กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length (y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	14.581
-	-	-	-
-	-	-	-
5	43	3.098	6.137
6	28	-3.738	14.424

จุดที่	Catheter Length (y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
8	20	-6.742	22.440
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
12	47	-0.696	11.622

ขั้นที่ 17 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 r_{10} ในขั้นที่ 14 และ r_{11} ในขั้นที่ 16 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_{11} กับ r_5



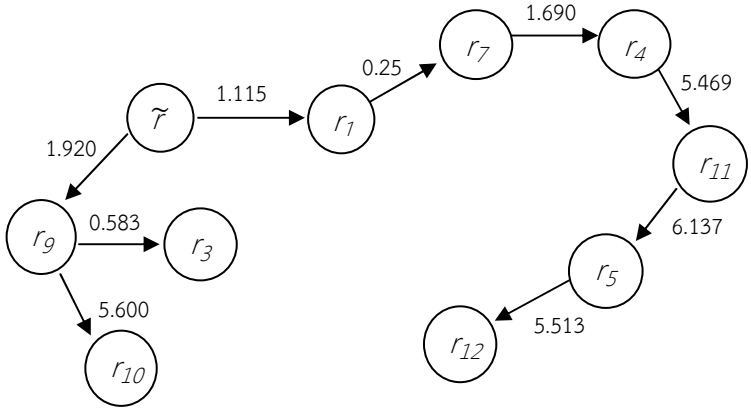
คำนวณผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

$$|r_{11} - r_5| = |6.657-3.098| = 3.559$$

ขั้นที่ 18 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่าง r_5 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	8.445
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
6	28	-3.738	16.484
-	-	-	-
8	20	-6.742	25.017
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
12	47	-0.696	5.513

ขั้นที่ 19 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 r_{10} ในขั้นที่ 14 r_{11} ในขั้นที่ 16 และ r_5 ในขั้นที่ 18 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_5 กับ r_{12}



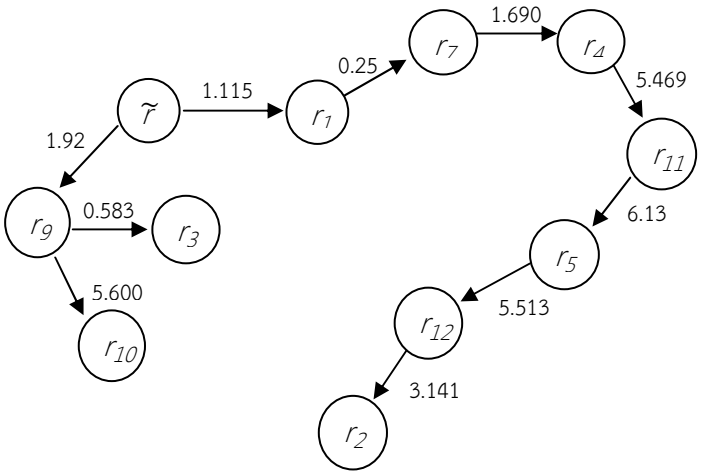
คำนวณค่าผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

$$|r_5 - r_{12}| = |3.098-(-0.696)| = 3.794$$

ขั้นที่ 20 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่างพิกัดของ r_{12} กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
2	50	-1.626	3.141
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
6	28	-3.738	19.242
-	-	-	-
8	20	-6.742	27.669
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

ขั้นที่ 21 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_7 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 r_{10} ในขั้นที่ 14 r_{11} ในขั้นที่ 16 r_5 ในขั้นที่ 18 และ r_{12} ในขั้นที่ 20 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_{12} กับ r_2



คำนวณผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

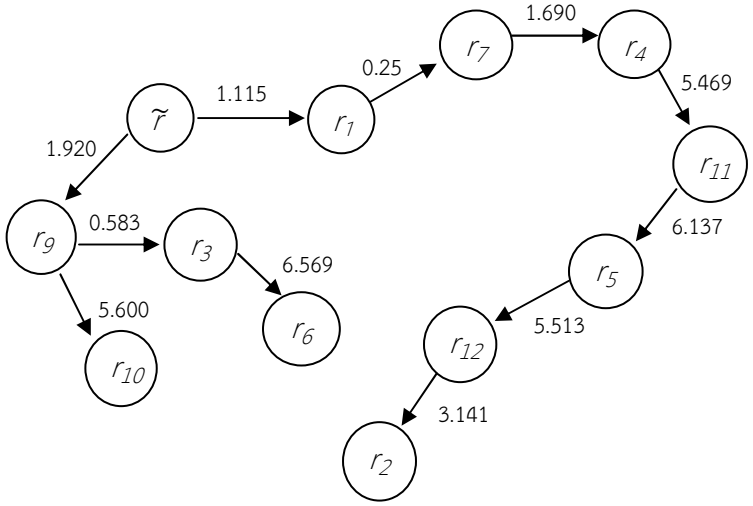
$$|r_{12} - r_2| = |-0.696-(-1.626)| = 0.93$$

ขั้นที่ 22 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่างพิกัดของ r_2 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
6	28	-3.738	22.101
-	-	-	-
8	20	-6.742	30.433
-	-	-	-
-	-	-	-

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
-	-	-	-

ขั้นที่ 23 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 r_{10} ในขั้นที่ 14 r_{11} ในขั้นที่ 16 r_5 ในขั้นที่ 18 r_{12} ในขั้นที่ 20 และ r_2 ในขั้นที่ 22 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_3 กับ r_6 ในขั้นที่ 12



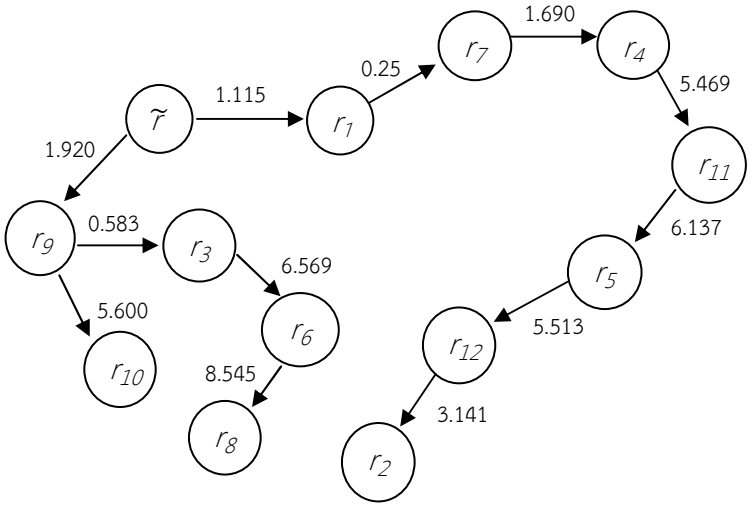
คำนวณผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้จะได้

$$|r_3 - r_6| = |-1.063-(3.738)| = 2.675$$

ขั้นที่ 24 คำนวณระยะทางยุคลิดระหว่างพิกัดของ r_6 กับส่วนเหลืออื่น ๆ ที่เหลือ

จุดที่	Catheter Length(y)	ส่วนเหลือ	ระยะทางยุคลิด
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
8	20	-6.742	8.545
-	-	-	-

ขั้นที่ 25 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิดของจุดที่อยู่ห่างจากค่า $\tilde{r}$ ในขั้นที่ 2 ค่า r_1 ในขั้นที่ 4 r_7 ในขั้นที่ 6 r_4 ในขั้นที่ 8 r_9 ในขั้นที่ 10 r_3 ในขั้นที่ 12 r_{10} ในขั้นที่ 14 r_{11} ในขั้นที่ 16 r_5 ในขั้นที่ 18 r_{12} ในขั้นที่ 20 r_2 ในขั้นที่ 22 และ r_6 ในขั้นที่ 24 โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด แต่ต้องไม่เป็นวัฏจักร ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกระยะทางยุคลิดระหว่างค่า r_6 กับ r_8 ในขั้นที่ 24



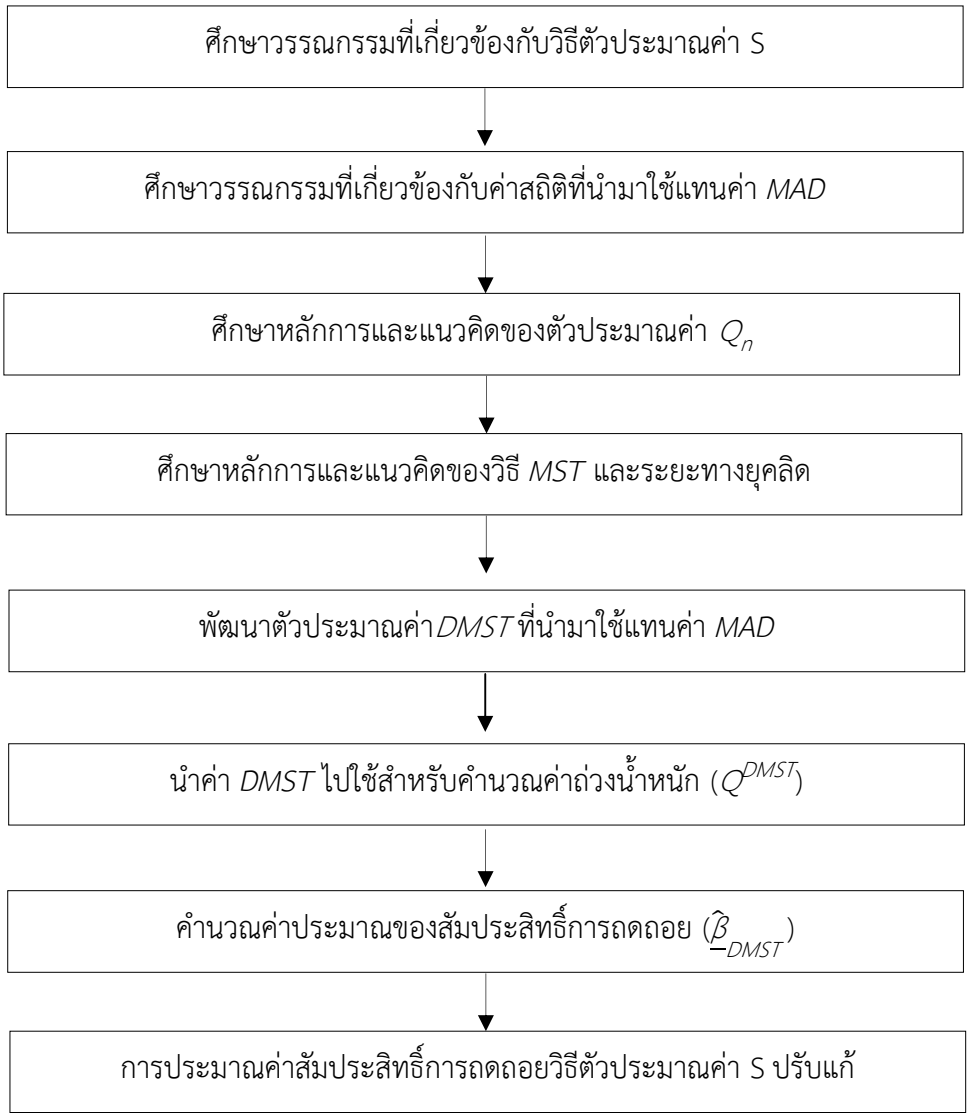
คำนวณผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมาทั้ง 2 ค่านี้

$$|r_6 - r_8| = |-3.738 - \left(-6.742\right)| = 3.004$$

คู่ที่	ส่วนเหลือ	$\lvert r_i - r_j \rvert$
1	$\tilde{r}, r_1$	0.220
2	r_1, r_7	0.245
3	r_7, r_4	1.362
5	r_3, r_9	0.583
6	r_9, r_{10}	3.336
7	r_4, r_{11}	5.090
8	r_{11}, r_5	3.559
9	r_5, r_{12}	3.794
10	r_{12}, r_2	0.930
11	r_3, r_6	2.675
12	r_6, r_8	3.004

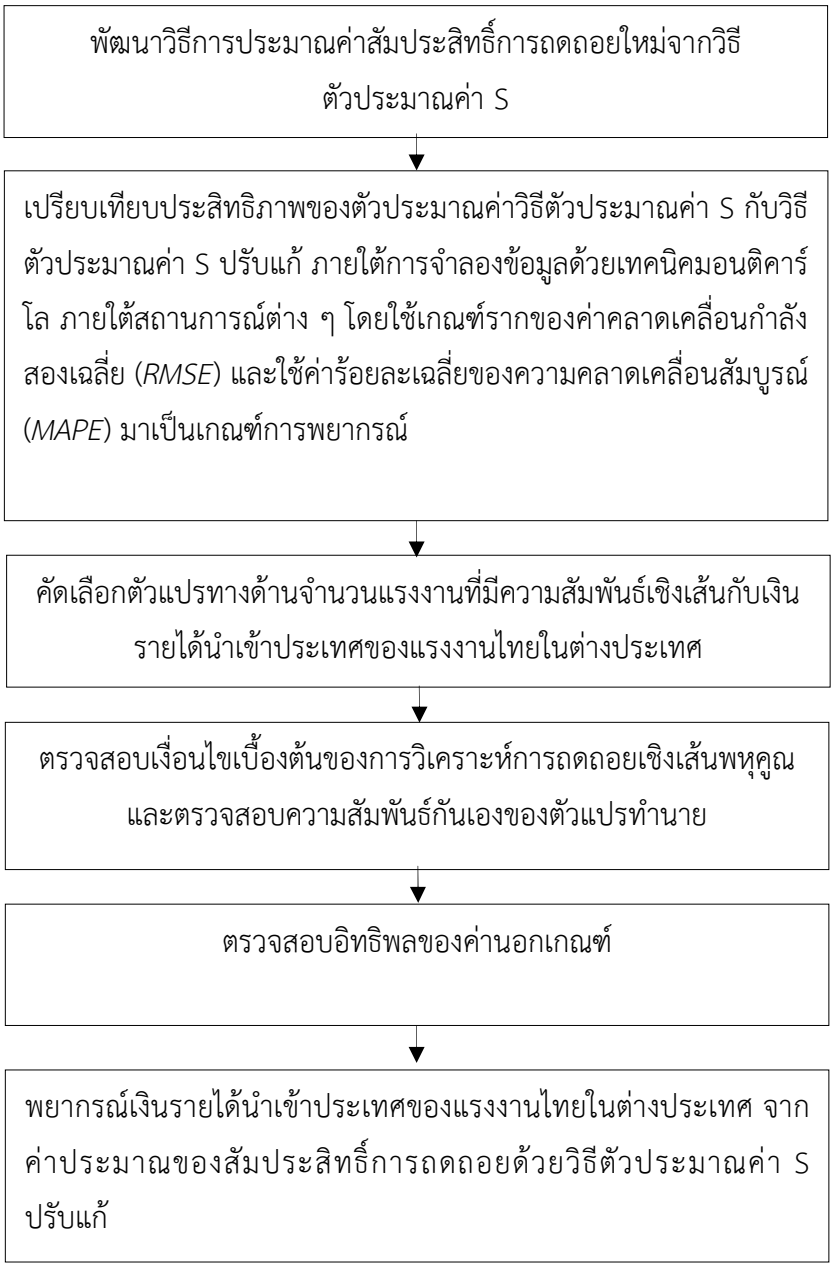
ดังนั้น จะได้ $DMST = med\left\{\left| r_i^* - r_j^* \right|\right\} = 2.0185$

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปแผนภาพการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ โดยเริ่มจากคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้น ที่นำมาใช้แทนค่า *MAD* ซึ่งจะนำไปคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ แทนด้วย Q^{DMST} เพื่อนำไปถ่วงน้ำหนักสำหรับคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ ($\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$) แสดงขั้นตอนได้ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

เมื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่จากวิธีตัวประมาณค่า S แล้ว จึงดำเนินการตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S และดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3) เพื่อพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการวิจัย

จากภาพที่ 3-3 พบว่า ขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 เป็นการศึกษาลักษณะเบื้องต้น (Pilot Study) ของข้อมูลด้านจำนวนแรงงานและรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของตัวแปรที่ศึกษา การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ การตรวจสอบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนาย และการตรวจสอบอิทธิพลของส่วนเหลือ ก่อนพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศต่อไป

ระยะที่ 2 การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S

ขั้นตอนนี้เป็นการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S จากการจำลองสถานการณ์ โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างข้อมูล

ขั้นตอนการสร้าง (Generate) ข้อมูล และความคลาดเคลื่อนที่มีลักษณะการแจกแจง 3 แบบ ได้แก่ การแจกแจงปรกติ การแจกแจงแกมมาที่มีค่าพารามิเตอร์บอกรูปร่าง (α) = 2 และพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (β) = 1 และการแจกแจงไวบูล ที่มีค่าพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (α) = 2 ค่าพารามิเตอร์บอกรูปร่าง (β) = 1 แสดงได้ตามภาพที่ 3-4 โดยการสร้างความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากการแจกแจงปรกตินั้น สามารถปรับแก้จากขั้นตอนที่ 1 ดังนั้นจึงได้ขั้นตอนการสร้างข้อมูล และความคลาดเคลื่อนที่นำมาจำลองสถานการณ์ ดังนี้

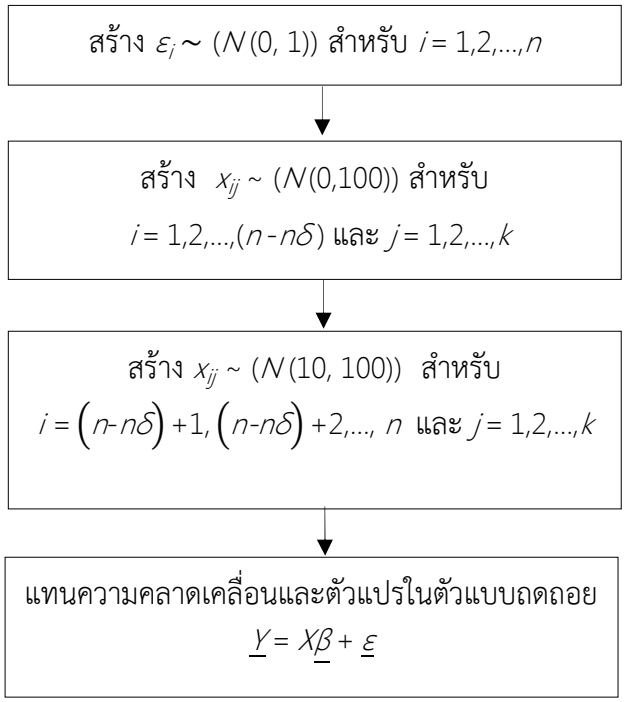
1.1 สร้างความคลาดเคลื่อน ε_i ที่มีการแจกแจงปรกติมาตรฐาน ($N(0, 1)$) สำหรับ $i = 1,2,...,n$

1.2 สร้างค่าสังเกต X ที่ไม่มีค่านอกเกณฑ์ สำหรับแต่ละสมการถดถอย x_{ij} โดยเริ่มที่การแจกแจงปรกติ ($N(0,100)$) สำหรับ $i = 1,2,...,(n-n\delta)$ และ $j = 1,2,...,p$

1.3 สร้าง (100 $n\delta$) % ของค่านอกเกณฑ์ของ X ในแต่ละสมการถดถอย โดยเริ่มจากให้ x_{ij} มีการแจกแจงปรกติ ($N(10,100)$) สำหรับ $i = \left(n-n\delta\right)+1, \left(n-n\delta\right)+2,..., n$ และ $j = 1,2,...,p$

1.4 แทนความคลาดเคลื่อนและตัวแปรในตัวแบบถดถอย $\underline{Y} = X\underline{\beta} + \underline{\varepsilon}$ เมื่อ $X = (x_{i1},x_{i2},...,x_{ik})'$ สำหรับ $i = \left(n-n\delta\right)+1, \left(n-n\delta\right)+2,..., n$ และ $j = 1,2,...,k$ โดยที่ค่าของ Y คำนวณได้จากค่านอกเกณฑ์ของ X เมื่อมีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็น $\underline{\beta}$

สำหรับขั้นตอนของการสร้างข้อมูลแสดงได้ตามภาพที่ 3-5



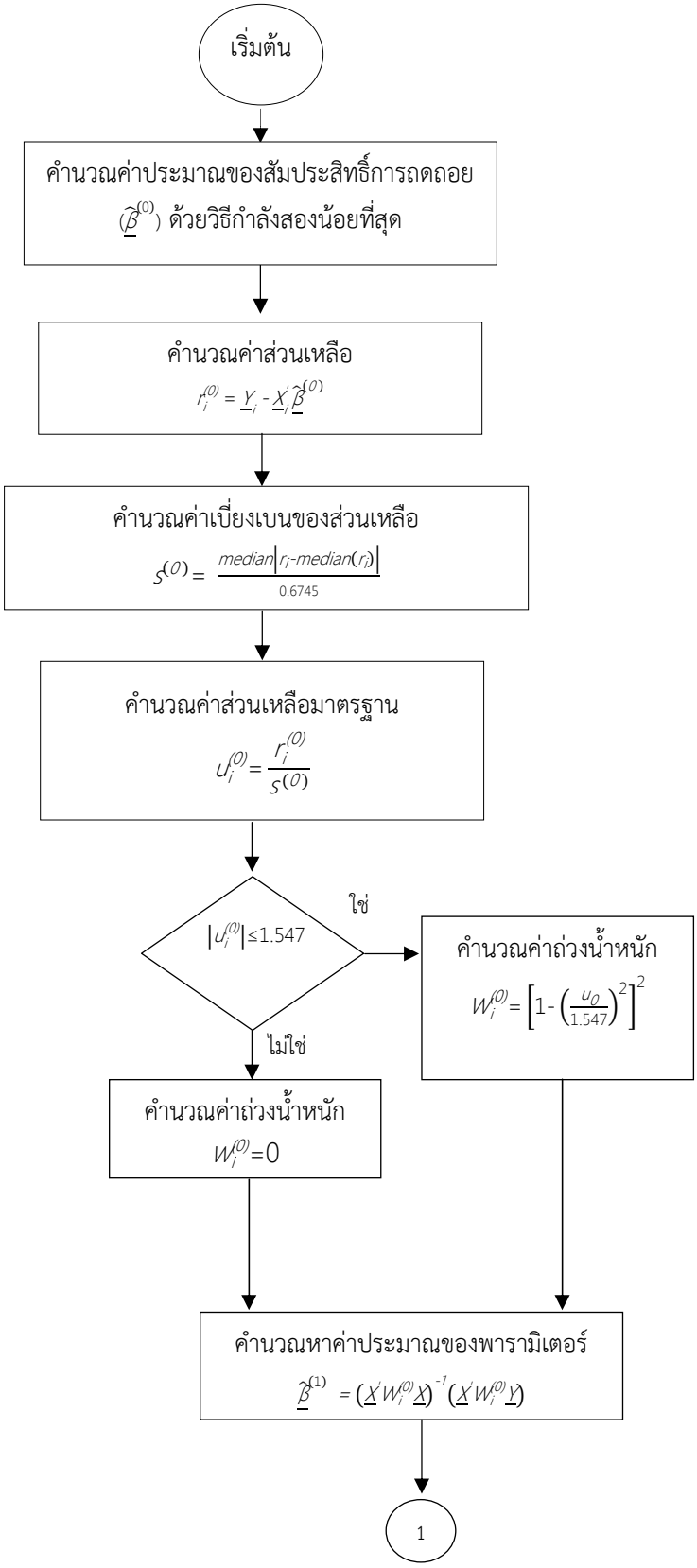
ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนของการสร้างข้อมูล

2. ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

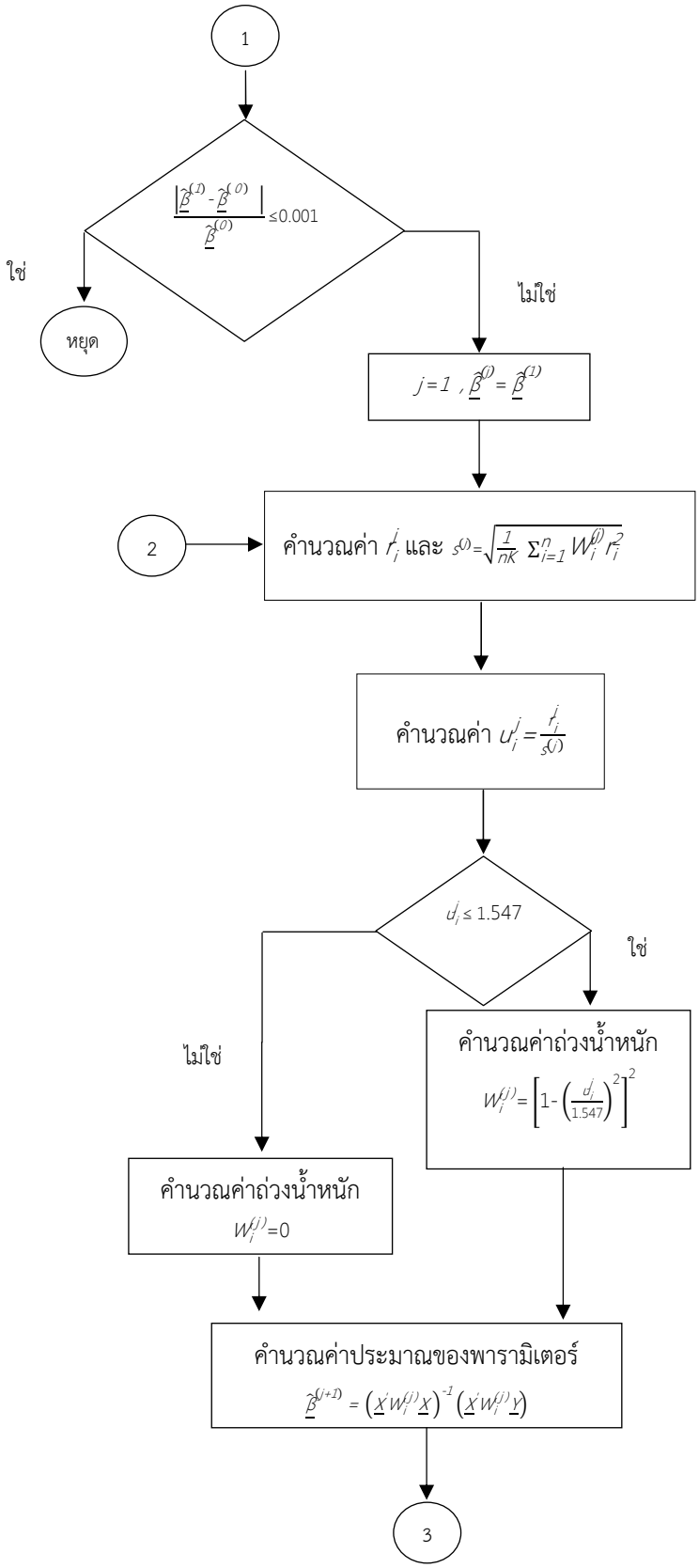
เมื่อสร้างข้อมูลแล้ว ขั้นต่อไปเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้การจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ ที่ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง (n) ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ (δ) จำนวนพารามิเตอร์ (p) และลักษณะการแจกแจงของความคลาดคลื่อน ทั้งนี้ Habshah et al. (2009, p. 510) ได้แนะนำให้ใช้ขนาดตัวอย่างเมื่อมีค่าสังเกตที่ผิดปกติจากตัวแปรทำนาย หรือลักษณะของพิกัดจุดที่แสดงตำแหน่งของค่าสังเกตที่เป็นจุดที่เพิ่มขึ้นสูง (High Leverage) โดยจะใช้ตัวอย่างขนาดเล็กที่ n = 20 ตัวอย่างขนาดกลางที่ n = 40 และ 60 และตัวอย่างขนาดใหญ่ที่ n = 100 และ 200 ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ที่รวมอยู่กับค่าสังเกตทั้งหมดเป็นร้อยละ 5, ร้อยละ 10, ร้อยละ 15, ร้อยละ 20, ร้อยละ 25 และร้อยละ 30 จำนวนพารามิเตอร์มี 6 จำนวน ได้แก่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 และลักษณะการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน 3 แบบได้แก่ แจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล ซึ่งแต่ละสถานการณ์ได้ทำการทดลองซ้ำ 1,000 รอบ ซึ่งขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S แสดงได้ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S

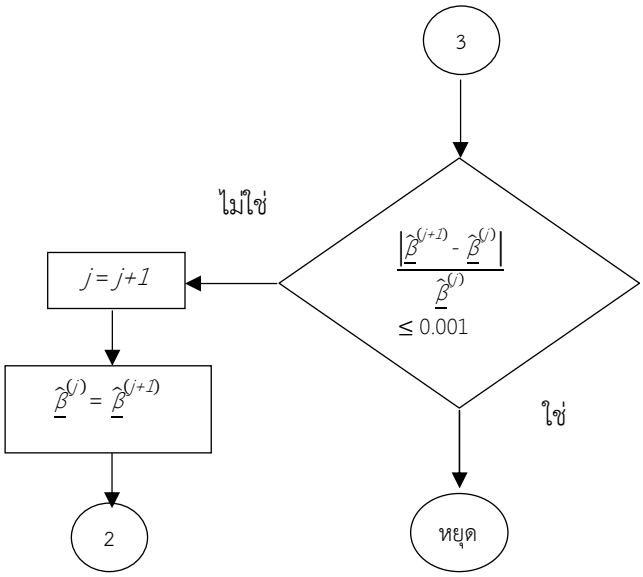
การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S จากวิธี IRLS เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณได้จากวิธี LS เป็นค่าเริ่มต้น และจากสมการถดถอยที่ได้ให้นำมาคำนวณส่วนเหลือ จากนั้นคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *MAD* นำส่วนเหลือที่ได้มาคำนวณค่ามาตรฐาน แล้วนำมาใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบต่อไป ทั้งนี้สามารถแสดงขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ได้ตามภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S


1
$\frac{|\underline{\beta}^{(1)} - \underline{\beta}^{(0)}|}{\underline{\beta}^{(0)}} \le 0.001$
ใช่
หยุด
ไม่ใช่
$j=1$, $\underline{\beta}^{(0)} = \underline{\beta}^{(1)}$
2
คำนวณค่า r_i^j และ $s^{(j)}=\sqrt{\frac{1}{nK}\sum_{i=1}^{n} W_i^{(j)} r_i^2}$
คำนวณค่า $u_i^j = \frac{r_i^j}{s^{(j)}}$
$u_i^j \le 1.547$
ใช่
ไม่ใช่
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$W_i^{(j)} = \left[1 - \left(\frac{u_i^j}{1.547}\right)^2\right]^2$
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$W_i^{(j)}=0$
คำนวณค่าประมาณของพารามิเตอร์
$\underline{\beta}^{(j+1)} = \left(\underline{X}' W_i^{(j)} \underline{X}\right)^{-1} \left(\underline{X}' W_i^{(j)} \underline{Y}\right)$
3

ภาพที่ 3-5 (ต่อ)



ภาพที่ 3-5 (ต่อ)

จากภาพที่ 3-5 สามารถอธิบายวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S จากวิธี IRLS ดังนี้

1. ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด หรือ $\underline{\hat{\beta}}^{(0)}$ ที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการหาคำตอบ

2. คำนวณส่วนเหลือเริ่มต้น ($r_i^{(0)}$) และค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ$\left(s^{(0)}\right)$ จากค่า *MAD* ดังนี้

$$s^{(0)} = \frac{median|r_i - median(r_i)|}{0.6745}$$

3. คำนวณฟังก์ชันน้ำหนัก $\left(W_i^{(j)}\right)$ จากฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี เมื่อมี c เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1.547 ดังนี้

$$W_i^{(j)} = \begin{cases} \left[1-\left(\frac{u_i^j}{1.547}\right)^2\right]^2 & ; \quad |u_i| \leq 1.547 \\ 0 & ; \quad |u_i| > 1.547 \end{cases}$$

เมื่อ $W_i^{(j)}$ คือค่าน้ำหนักของค่าส่วนเหลือมาตรฐาน $\left(u_i^j\right)$ ในรอบของการคำนวณที่ j

4. จากค่าน้ำหนักในข้อ 3 สามารถคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่ 1 หรือ $\underline{\hat{\beta}}^{(1)}$ ได้ดังนี้

$$\underline{\hat{\beta}}^{(1)} = \left(\underline{X}' W_i^{(0)} \underline{X}\right)^{-1} \left(\underline{X}' W_i^{(0)} \underline{Y}\right)$$

5. คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\hat{\beta}}^{(1)}$ กับ $\underline{\hat{\beta}}^{(0)}$ หรือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่คำนวณได้ในปัจจุบันกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่คำนวณได้ในรอบก่อนหน้า หรือคำนวณค่า $\Delta = \frac{\left|\underline{\hat{\beta}}^{(1)} - \underline{\hat{\beta}}^{(0)}\right|}{\underline{\hat{\beta}}^{(0)}}$ ถ้าพบว่าค่า Δ น้อยกว่า 0.001 ให้หยุดคำนวณ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ให้ทำขั้นต่อไป (Panik, 2009, p. 293)

6. การคำนวณในรอบที่ 2 ให้นำ $\underline{\hat{\beta}}^{(1)}$ ที่ได้จากในข้อ 4 มาเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณในรอบใหม่นี้ โดยให้คำนวณส่วนเหลือ($r_i^{(1)}$) และค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ ($s^{(1)}$) จากค่าน้ำหนักที่ได้จากรอบแรก ดังนี้

$$s^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^{n} W_i^{(0)} r_i^2}$$

7. ทำซ้ำในข้อ 3 คือให้คำนวณค่าน้ำหนักในรอบที่ 2 แทนด้วย $W_i^{(1)}$เมื่อ $u_i = \frac{r_i^{(1)}}{s^{(1)}}$

8. คำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่ 2 หรือ $\underline{\hat{\beta}}^{(2)}$ ดังนี้

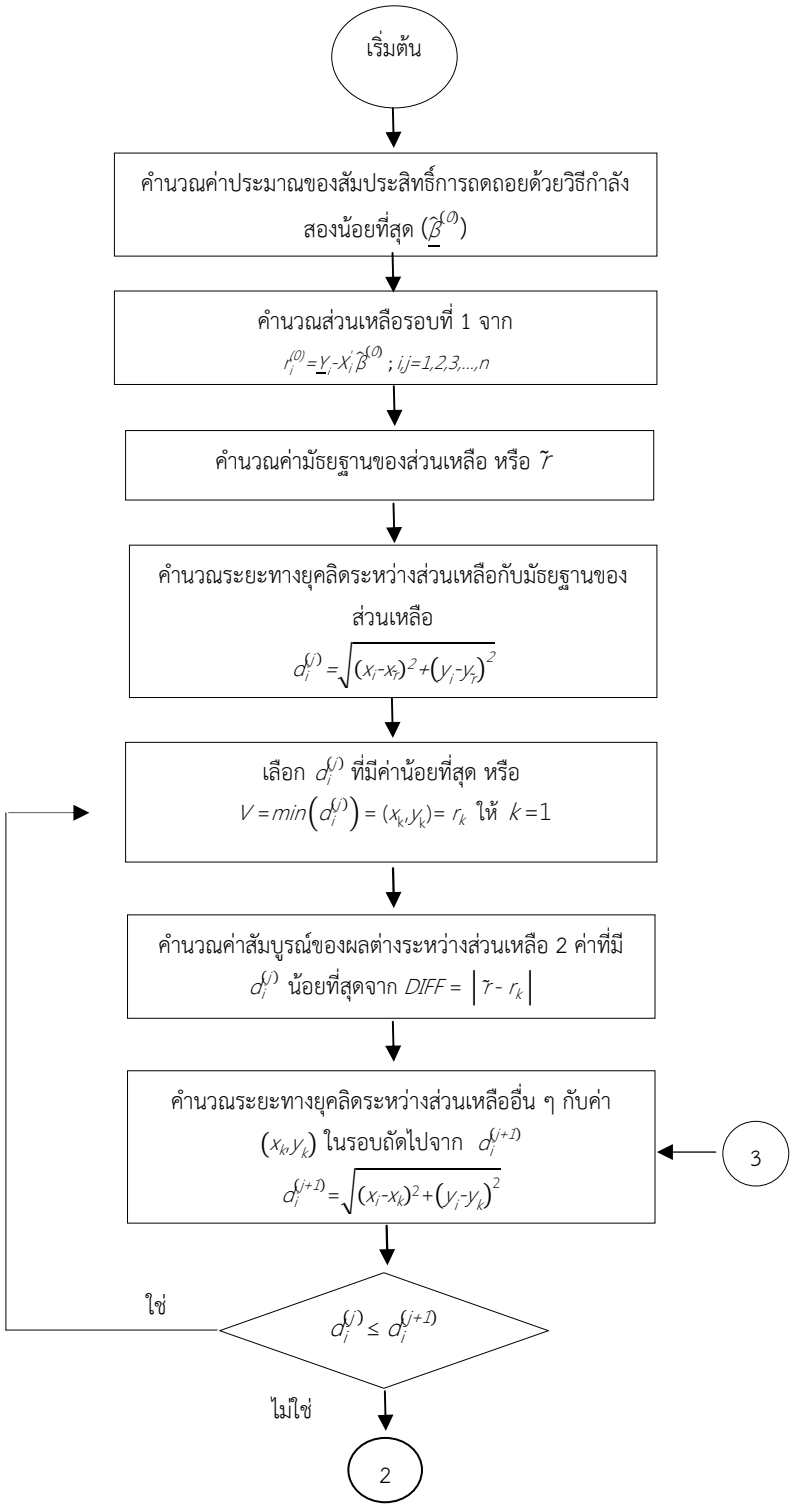
$$\underline{\hat{\beta}}^{(2)} = \left(\underline{X}' W_i^{(1)} \underline{X}\right)^{-1} \left(\underline{X}' W_i^{(1)} \underline{Y}\right)$$

9. คำนวณค่า $\Delta = \frac{\left|\underline{\hat{\beta}}^{(2)} - \underline{\hat{\beta}}^{(1)}\right|}{\underline{\hat{\beta}}^{(1)}}$ ถ้าพบว่าค่า Δ ไม่เกินกว่า 0.001 แล้วให้หยุดคำนวณ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ให้ทำรอบต่อไป

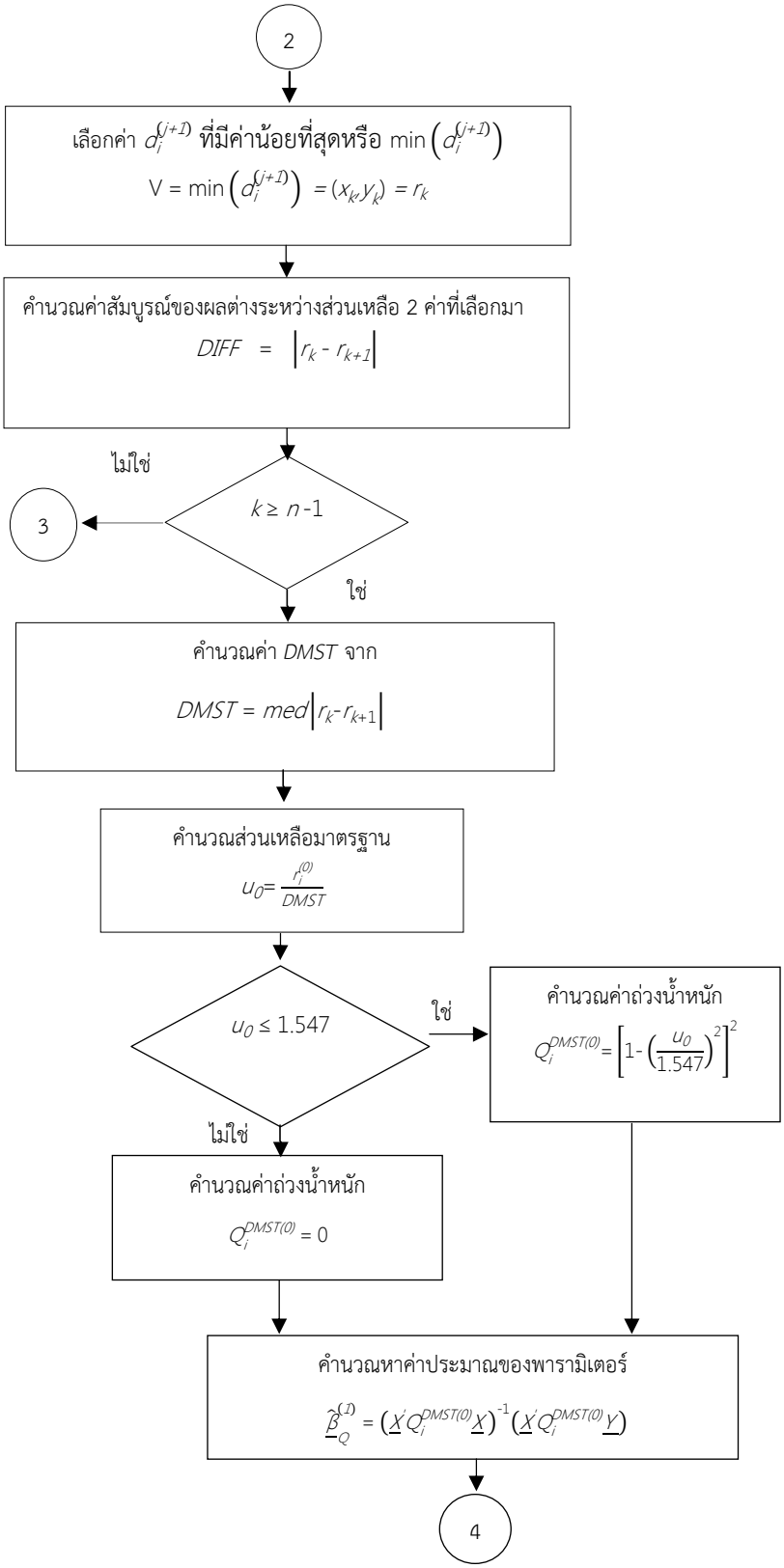
10. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึง 8 จนกระทั่งค่า $\Delta = \frac{\left|\underline{\hat{\beta}}^{(j+1)} - \underline{\hat{\beta}}^{(j)}\right|}{\underline{\hat{\beta}}^{(j)}}$ ของค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบใหม่ (รอบที่ $j+1$) กับค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่เกิดขึ้นก่อนหน้า (รอบที่ j) มีค่าไม่เกิน 0.001 ซึ่งจะได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์เป็น $\underline{\hat{\beta}}^{(j+1)}$

2.2 วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

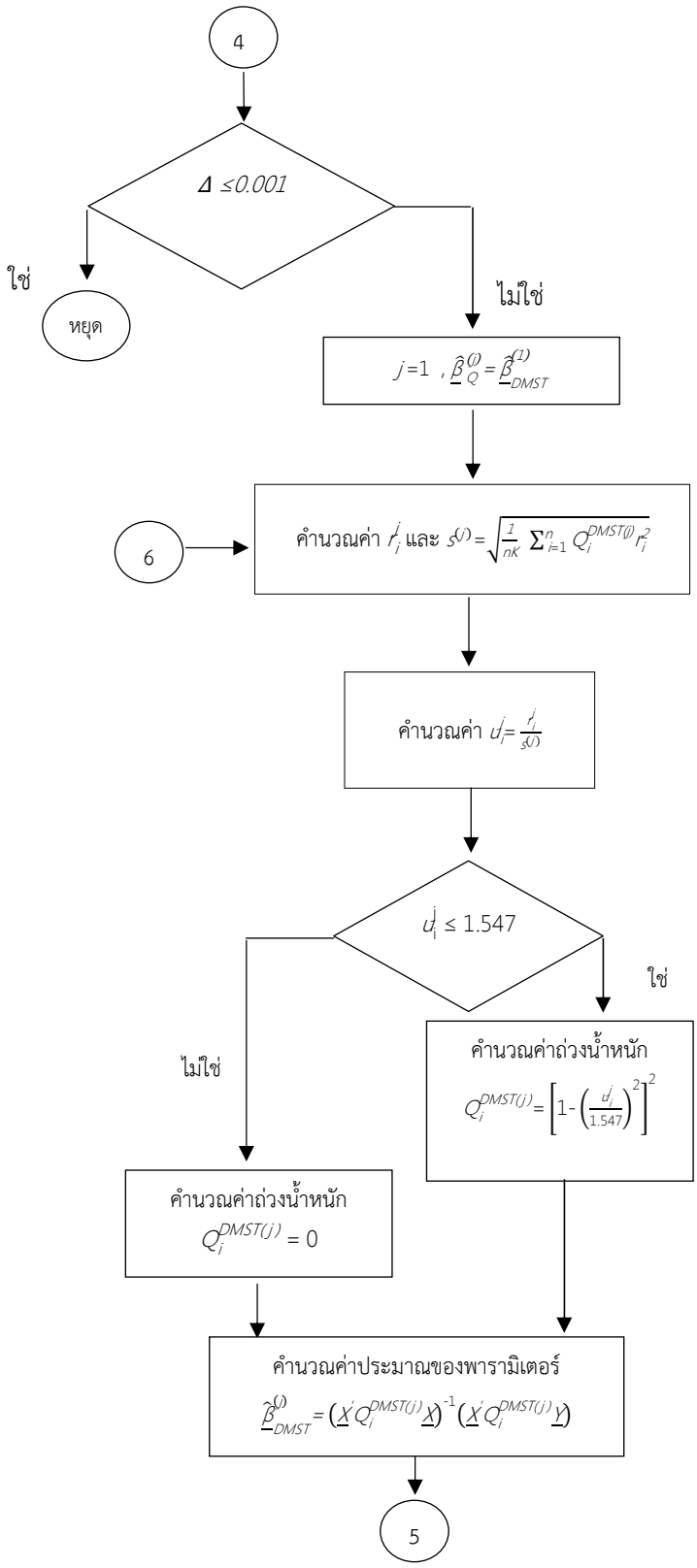
การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ เป็นการปรับค่าน้ำหนักจากวิธีตัวประมาณค่า S โดยค่าน้ำหนักใหม่ที่ได้ หรือ Q^{DMST} ที่เกิดจากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่า *DMST* ทำให้ได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ หรือ $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ ซึ่งแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ตามแผนภาพที่ 3-6



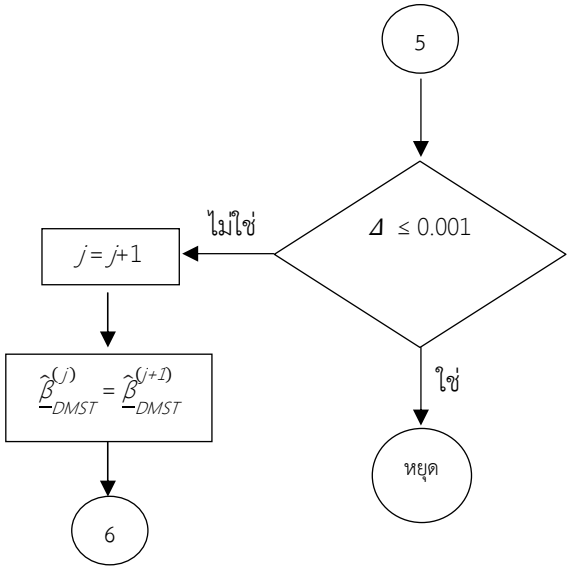
ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้


2
เลือกค่า $d_i^{(j+1)}$ ที่มีค่าน้อยที่สุดหรือ min $\left(d_i^{(j+1)}\right)$
V = min $\left(d_i^{(j+1)}\right)$ $= (x_k, y_k) = r_k$
คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างส่วนเหลือ 2 ค่าที่เลือกมา
$DIFF = \left|r_k - r_{k+1}\right|$
ไม่ใช่
$k \geq n-1$
3
ใช่
คำนวณค่า DMST จาก
$DMST = med\left|r_k - r_{k+1}\right|$
คำนวณส่วนเหลือมาตรฐาน
$u_0 = \frac{r_i^{(0)}}{DMST}$
$u_0 \leq 1.547$
ใช่
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$Q_i^{DMST(0)} = \left[1 - \left(\frac{u_0}{1.547}\right)^2\right]^2$
ไม่ใช่
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$Q_i^{DMST(0)} = 0$
คำนวณหาค่าประมาณของพารามิเตอร์
$\underline{\hat{\beta}}_Q^{(J)} = (\underline{X}' Q_i^{DMST(0)} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q_i^{DMST(0)} \underline{Y})$
4

ภาพที่ 3-6 (ต่อ)


4
$\Delta \leq 0.001$
ใช่
หยุด
ไม่ใช่
$j=1$, $\underline{\hat{\beta}}_Q^{(j)} = \underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)}$
6
คำนวณค่า r_i^j และ $s^{(j)} = \sqrt{\frac{1}{nK}\sum_{i=1}^{n} Q_i^{DMST(j)} r_i^2}$
คำนวณค่า $u_i^j = \frac{r_i^j}{s^{(j)}}$
$u_i^j \leq 1.547$
ใช่
ไม่ใช่
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$Q_i^{DMST(j)} = \left[1-\left(\frac{u_i^j}{1.547}\right)^2\right]^2$
คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก
$Q_i^{DMST(j)} = 0$
คำนวณค่าประมาณของพารามิเตอร์
$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(j)} = (\underline{X}' Q_i^{DMST(j)} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q_i^{DMST(j)} \underline{Y})$
5

ภาพที่ 3-6 (ต่อ)



ภาพที่ 3-6 (ต่อ)

จากภาพที่ 3-6 สามารถอธิบายขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ดังนี้

1. ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแทนด้วย $\hat{\underline{\beta}}^{(0)}$ ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการหาคำตอบ

2. คำนวณส่วนเหลือเริ่มต้น $r_i^{(0)}$ จากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดตามข้อ 1

3. คำนวณค่ามัธยฐานของส่วนเหลือ $\tilde{r}$ กำหนดให้มีพิกัดจุดเป็น $(x_{\tilde{r}}, y_{\tilde{r}})$

4. คำนวณระยะทางยุคลิด หรือ d_i ที่แทนระยะห่างที่ i ระหว่างค่า $\tilde{r}$ กับส่วนเหลือ r_i ที่มีพิกัด (x_i', y_i') ดังนี้

$$d_i = \sqrt{(x_i'-x_{\tilde{r}})^2+(y_i'-y_{\tilde{r}})^2}$$

เมื่อ (x_i', y_i') เป็นพิกัดจุดของส่วนเหลือที่ i โดยที่ $i = 1,2,3,\ldots,n$

5. ใช้วิธี *MST* ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม ในการคัดเลือกส่วนเหลือที่ให้ค่าน้ำหนักน้อยที่สุด โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ค่าระยะทางยุคลิดเป็นค่าน้ำหนัก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

5.1 กำหนดตัวแปร V เป็นตัวแปรที่จะรับค่าพิกัดจุดของส่วนเหลือที่ให้ค่าน้ำหนักน้อยที่สุดในแต่ละรอบของการคำนวณ โดยในรอบแรกจะเลือกจุดที่มีระยะทางยุคลิดจากพิกัดจุดของค่ามัธยฐานของส่วนเหลือน้อยที่สุดมาเก็บไว้ที่ตัวแปร V (กำหนดให้จุดนี้เป็นพิกัดของส่วนเหลือ r_k)

5.2 คำนวณค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่าง $\tilde{r}$ กับ r_k เก็บผลลัพธ์ที่ได้ไว้ที่ตัวแปร *DIFF* ดังนี้

$$DIFF = |\tilde{r} - r_k|$$

5.3 คำนวณค่าระยะทางยุคลิด ระหว่างจุดที่เลือกมาในข้อ 5.1 กับทุกจุดที่เหลือในรอบถัดไป ดังนี้

$$d_i^{(j+1)} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}$$

5.4 เปรียบเทียบระยะทางยุคลิด ระหว่างพิกัดจุดของค่าส่วนเหลือกับพิกัดจุดของค่ามัธยฐานในข้อ 5.1 กับระยะห่างระหว่างจุดในข้อ 5.3 แล้วเลือกค่าที่น้อยที่สุด โดยบันทึกพิกัดจุดนี้ไว้ที่ตัวแปร V ถ้าพบว่าระยะทางยุคลิดของจุดในข้อ 5.3 มีค่าน้อยกว่าให้บันทึกเป็นพิกัด (x_k, y_k) แล้วหาระยะทางยุคลิดของจุดนี้กับจุดอื่น ๆ ที่เหลือต่อไป

5.5 ทำซ้ำข้อ 5.2 ถึง 5.4 จนกระทั่งได้ส่วนเหลือจำนวน k จุด เมื่อ $k = n - 1$ ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่าผลรวมของระยะทางยุคลิด หรือค่าน้ำหนักน้อยที่สุด

5.6 นำจุดทั้งหมดที่ได้มาคำนวณค่าสถิติ *DMST* ที่เป็นค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่เลือกมา 2 คู่ใด ๆ

6. นำค่า *DMST* ในข้อ 5 มาเป็นค่าเริ่มต้นในการหาค่าถ่วงน้ำหนัก Q_i

7. คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก $Q_i^{DMST(0)}$ ที่ใช้ถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น เมื่อ $u_0 = \frac{r_i^{(0)}}{DMST}$ เป็นค่ามาตรฐานของส่วนเหลือ

8. คำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่ 1 จาก

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)} = (\underline{X}' Q_i^{DMST(0)} X)^{-1} (\underline{X}' Q_i^{DMST(0)} \underline{Y})$$

9. คำนวณค่า $\Delta = \frac{\left|\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)} - \underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(0)}\right|}{\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(0)}}$ โดยพบว่าถ้าค่า Δ ที่ได้น้อยกว่า 0.001 ให้หยุดคำนวณ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ให้ทำขั้นต่อไป

10. ในรอบที่ 2 ของการคำนวณ ให้นำ $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)}$ ที่ได้จากในข้อ 8 มาใช้คำนวณค่า $r_i^{(1)}$ และค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ $s^{(1)}$ ที่คำนวณจากค่าน้ำหนักที่ได้ ดังนี้

$$s^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{nK}\sum_{i=1}^{n} Q_i^{DMST(0)} r_i^2}$$

11. ทำซ้ำในข้อ 6 คือให้คำนวณค่าฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักในรอบที่ 2 แทนด้วย $Q_i^{(1)}$ เมื่อ $u_i = \frac{r_i^{(1)}}{s^{(1)}}$

12. คำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่ 2 ได้จาก

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(2)} = (\underline{X}' Q_i^{DMST(1)} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q_i^{DMST(1)} \underline{Y})$$

13. คำนวณค่า $\Delta = \frac{\left|\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(2)} - \underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)}\right|}{\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(1)}}$ โดยพบว่า ถ้า Δ ที่ได้นี้น้อยกว่า 0.001 ให้หยุดคำนวณ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ให้ทำรอบต่อไป

14. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 6 ถึง 7 จนกระทั่งค่าΔของค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบใหม่ (รอบที่ j+1) กับค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยในรอบที่เกิดขึ้นก่อนหน้า (รอบที่ j) มีค่าไม่เกิน 0.001 ซึ่งจะได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็น $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}^{(j+1)}$

ระยะที่ 3 การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ขั้นตอนนี้เป็นการนำวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ มาสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ จากจำนวนแรงงานไทยที่ไปทำงานยังประทศต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ จำแนกเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่แสดงเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (ล้านบาท) และจำนวนแรงงานไทย (คน) ที่ไปทำงานยังประเทศต่าง ๆ ตามที่ปรากฏในฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทย ได้แก่ ไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นจากสถิติพื้นฐาน และสถิติอนุมาน แสดงได้ดังนี้

3.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าความเบ้ และค่าความโด่ง ที่นำมาใช้ในการอธิบายเงินนำเข้าประเทศ และจำนวนแรงงานไทยที่ไปงานในประเทศต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยใช้ค่าสถิติพื้นฐานเหล่านี้เพื่อพิจารณาลักษณะการแจกแจงของค่าสังเกตว่าสอดคล้องกับการจำลองสถานการณ์หรือไม่ การสร้างแผนภาพการกระจายเพื่ออธิบายลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์ และตัวแปรทำนายทีละตัว

3.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของตัวแปรที่ศึกษา เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์ (Y) และตัวแปรทำนาย (X) มากกว่าหนึ่งตัวแปร โดยใช้สถิติทดสอบ t มาทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนายทีละตัว และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว หรือสถิติทดสอบ F เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนายมากกว่า 1 ตัว จากลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นที่มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$\underline{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \ldots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

$\underline{Y}_i$ แทน ค่าของตัวแปรเกณฑ์ เมื่อ $i = 1,2,3,\ldots,n$

x_{ji} แทน ค่าของตัวแปรทำนายที่ j จากค่าสังเกตที่ i เมื่อ $j = 1,2,3,\ldots,k$

β_0 แทน ระยะตัดแกน Y ของข้อมูลในประชากร

β_j แทน ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของ Y เมื่อ X_i เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย

ε_i แทน ความคลาดเคลื่อน

3.2.1 การทดสอบสมมุติฐานเมื่อใช้ค่าสถิติทดสอบ t

วัตถุประสงค์ของการทดสอบสมมุติฐานนี้คือ ต้องการผลสรุปว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละค่า หรือ $\beta_j \neq 0$ อยู่ในตัวแบบถดถอยหรือไม่ หรือเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรทำนายใดบ้างมีความสัมพันธ์กับตัวแปรเกณฑ์ ภายใต้สมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \beta_j = 0$$
$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

ถ้าผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า $\beta_j \neq 0$ แสดงว่า Y และ X_i มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนายมากกว่า 1 ตัว หรือเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y และตัวแปรทำนาย X_j เมื่อ $j = 1,2,3,...,k$ ภายใต้สมมุติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_k = 0$$
$$H_1 : \text{มี } \beta_j \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับศูนย์}$$

ถ้าผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่าตัวแปร Y และ X_j มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2.3 การทดสอบเงื่อนไขเบื้องต้นที่เกี่ยวกับค่า ε_i และความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนาย ดังนี้

1) ค่า ε_i สำหรับทุกค่า i จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 หรือ $E(\varepsilon_i) = 0$ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากค่าผลรวมของส่วนเหลือ

2) ค่าความแปรปรวนของ ε_i สำหรับทุกค่า i แทนด้วย σ_i^2 ต้องมีค่าคงที่ สามารถทดสอบได้โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือกับตัวแปรทำนาย

3) ค่า ε_i สำหรับทุกค่า i จะต้องเป็นอิสระกันซึ่งใช้วิธีการทดสอบ 2 วิธี ได้แก่ 1) การเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือกับเวลา 2) การใช้สถิติของ Durbin – Watson ซึ่งเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของ r_t กับ r_{t-1} เมื่อ t เป็นช่วงเวลา โดยคำนวณค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติในตารางของ Durbin – Watson ซึ่งแสดงค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson ได้ดังนี้

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}\left(r_t - r_{t-1}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n} r_t^2}$$

เมื่อค่าสถิติ d มีสมบัติดังนี้

ค่า d จะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 4

ถ้า d มีค่าเข้าใกล้ 2 แสดงว่าค่า ε_i แต่ละค่าจะเป็นอิสระกัน

ถ้า d มีค่าน้อยกว่า 2 แสดงว่าค่า ε_i แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก โดยที่ d เท่ากับ 0 แสดงว่า ε แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันมาก

ถ้า d มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าค่า ε_i แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันในทิศทางลบ โดยที่ d เท่ากับ 4 แสดงว่า ε_i แต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กันมาก

หาก ε_i แต่ละค่าไม่เป็นอิสระกันจะเกิดปัญหา Autocorrelation ดังนั้นสมมุติฐานของการทดสอบนี้ คือ

H_0 : ค่า ε_i แต่ละค่าเป็นอิสระกันหรือไม่ทำให้เกิด Autocorrelation ในแต่ละค่าของ ε_i

H_1 : ค่า ε_i แต่ละค่าเป็นไม่อิสระกันหรือเกิด Autocorrelation ในแต่ละค่าของ ε_i

4) ค่า ε_i ต้องมีการแจกแจงปรกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 หรือ $\varepsilon_i \sim normal(0, \sigma^2)$ ซึ่งการทดสอบการแจกแจงของค่า ε_i มีหลายวิธี เช่น การทดสอบโดยใช้การทดสอบไคกำลังสอง การพิจารณาจากฮิสโทแกรม และการพิจารณาจากกราฟของความน่าจะเป็นปรกติ (Normal Probability)

3.2.4 การตรวจสอบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนาย หรือการเกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งการทดสอบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนายนี้ จะใช้สถิติทดสอบ *F* หรือการใช้ค่าสถิติทดสอบ *t* โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทำนายต่าง ๆ แล้วทดสอบสมมุติฐานเพื่อพิจารณาว่า ตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งถ้าพบความสัมพันธ์กันของตัวแปรทำนายคู่ใดจะเลือกเฉพาะตัวแปรทำนายตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้นมาวิเคราะห์ หรืออาจใช้วิธีเลือกตัวแปรทำนายทีละตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรเกณฑ์เข้ามาในสมการถดถอย ซึ่งถ้าเลือกมาแล้วพบว่า ตัวแปรทำนายนี้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรทำนายที่เลือกมาก่อนหน้า จะคัดเลือกตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้นมาวิเคราะห์ โดยเทคนิควิธีการเลือกหรือพิจารณาว่าตัวแปรทำนายใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรเกณฑ์มีหลายวิธีแต่ที่จะนำมาใช้ในที่นี้ คือ วิธี All Possible Regression วิธี Backward Elimination วิธี Forward Selection และวิธี Stepwise Regression

3.2.5 ตรวจสอบค่าสังเกตที่ผิดปกติ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความผิดปกติของค่าสังเกตนั้นอาจเป็นความผิดปกติจากค่าของตัวแปรเกณฑ์ ความผิดปกติจากตัวแปรทำนาย หรือความผิดปกติทั้งจากตัวแปรเกณฑ์และตัวแปรทำนาย โดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะความผิดปกติที่มาจากตัวแปรทำนาย ที่ตรวจสอบจากเมทริกซ์แฮท ดังนี้

$$h_{ii} = \underline{X}_i^{'}\left(\underline{X}^{'}\underline{X}\right)^{-1}\underline{X}_i$$

เมทริกซ์แฮทเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้วัดระยะระหว่างค่าสังเกตที่ *i* จากค่ากึ่งกลางบนแกน *X* หากพบว่า สมาชิกในเมทริกซ์แฮทมีค่ามากกว่า $\frac{2p}{n}$ แสดงว่า ค่าสังเกต x_{ij} นั้นเป็นค่านอกเกณฑ์

ศิริชัย พงษ์วิชัย (2553, หน้า 451) สามารถนำค่าสถิติ $t_{(i)}$ หรือค่า Studentized Deleted Residual มาทดสอบค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ว่า เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่ ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของความคลาดเคลื่อน เมื่อมีข้อมูลชุดที่ *i* และไม่มีข้อมูลชุดที่ *i* ที่องศาเสรีเท่ากับ $n-p-2$ ภายใต้สมมุติฐานทางสถิติ และค่าสถิติ $t_{(i)}$ ดังนี้

H_0 : ความคลาดเคลื่อนไม่มีความแตกต่างกัน : ข้อมูลชุดที่ *i* เป็นค่านอกเกณฑ์

H_1 : ความคลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกัน : ข้อมูลชุดที่ *i* ไม่เป็นค่านอกเกณฑ์

ค่าสถิติ $t_{(i)}$

$$t_{(i)} = \frac{r_{(i)}}{\sqrt{s^2_{(i)}\left(1-h_i^2\right)}}$$

เมื่อ $r_{(i)}$ แทน ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบเมื่อไม่มีข้อมูลชุดที่ *i*

$s^2_{(i)}$ แทน ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแบบเมื่อไม่มีข้อมูลชุดที่ *i*

h_i^2 แทน สมาชิกแถวที่ *i* ของเมทริกซ์แฮท

n แทน จำนวนค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์

p แทน จำนวนพารามิเตอร์

3.2.6 การตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์ หลังจากที่พิจารณาว่าค่าสังเกตใดเป็นค่านอกเกณฑ์แล้วต้องพิจารณาต่อไปว่า ค่าสังเกตที่ผิดปกตินั้นมีอิทธิพลต่อสมการถดถอยหรือไม่ โดยใช้หลักการพิจารณา ดังนี้ (Panik, 2005, pp. 139-140)

1) พิจารณาจากค่า Difference in the fitted value-standardized หรือ $DFFITS_i$ ที่ใช้วัดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ *i* ที่มีต่อ $\hat{Y}$ เมื่อตัดค่าสังเกตที่ *i* ออก มีค่าสถิติทดสอบดังนี้

$$DFFITS_i = \frac{\underline{\hat{Y}}_i - \underline{\hat{Y}}_{i(i)}}{\sqrt{MSE_i h_{ii}}}$$

หรือแสดงได้ดังนี้

$$DFFITS_i = r_i\left[\frac{n-p-1}{SSE\,(1-h_{ii})-r_i^2}\right]^{1/2}\left(\frac{h_{ii}}{1-h_{ii}}\right)^{1/2}$$

$$= t_i\left(\frac{h_{ii}}{1-h_{ii}}\right)^{1/2}$$

เมื่อ $\underline{\hat{Y}}_{j(i)}$ คือ ค่าพยากรณ์ของ $\underline{Y}_j$ ที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากการตัดค่าสังเกตที่ *i* ออก MSE_i คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ตัดค่าสังเกตที่ *i* ออก ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาค่าสังเกตที่ *i* เป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่นั้น จะพิจารณาจาก $|DFFITS|_i > 1$ ที่แสดงว่า ข้อมูลที่ *i* เป็นค่านอกเกณฑ์ เงื่อนไขนี้ใช้ตรวจสอบสำหรับข้อมูลขนาดเล็กและขนาดกลาง สำหรับข้อมูลขนาดใหญ่จะพิจารณาจาก $|DFFITS|_i > 2\sqrt{p/n}$

2) ระยะทางของคุ้กซ์ (Cook's Distance) หรือ D_i วิธีนี้เป็นการพิจารณาความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากค่าสังเกตทุกค่า และที่ประมาณจากค่าสังเกตบางส่วนที่เกิดขึ้นหลังจากตัดค่าสังเกตที่ i ออก โดยพบว่า ถ้า D_i มีค่ามากแสดงว่าการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากข้อมูลที่ไม่รวมค่าสังเกตที่ i จะมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม ซึ่งหมายถึงค่าสังเกตนี้มีอิทธิพลต่อค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย หรือมีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์การถดถอย ทั้งนี้จะแสดงค่า D_i ดังนี้

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\underline{\hat{Y}}_j - \underline{\hat{Y}}_{j(i)}\right)^2}{p\,MSE}$$

เมื่อ p คือจำนวนพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมด และ $\underline{\hat{Y}}_{i(i)}$ คือค่าพยากรณ์ของ Y หน่วยสังเกตุที่ j ที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากการตัดค่าสังเกตที่ i ออก

3) การอธิบายอิทธิพลจากเมทริกซ์แฮทร่วมกับระยะทางของคุ้กซ์ ซึ่งมีค่าสถิติทดสอบดังนี้

$$D_i = \frac{r_i^2}{p\,MSE}\left[\frac{h_{ii}}{(1-h_{ii})^2}\right]$$

เกณฑ์การพิจารณาจะสัมพันธ์กับการแจกแจงแบบ F โดยนำค่า D_i ที่ได้ไปเทียบกับค่า $F_{(p,\,n-p)}$ ในตาราง หรืออาจพิจารณาจากค่าเปอร์เซนต์ไทล์ โดยถ้าค่าเปอร์เซนต์ไทล์น้อยกว่า 20% จะถือว่าค่าสังเกตนั้นมีอิทธิพลน้อยที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

4) ค่า Difference between the estimated regression coefficient หรือ *DFBETAS* เป็นการพิจาณาอิทธิพลจากค่าสถิติทดสอบดังนี้

$$DFBETAS_{k(i)} = \frac{\hat{\beta}_k - \hat{\beta}_{k(i)}}{\sqrt{MSE_{(i)}\,c_{kk}}}$$

เมื่อ $k = 0,1,\ldots,p-1$ และ c_{kk} คือสมาชิกในแนวทะแยงมุมของเมทริกซ์ $\left(\underline{X}'\underline{X}\right)^{-1}$ โดยที่ค่าความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์การถดถอยคือ $\sigma^2 c_{kk}$ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาว่า ค่านอกเกณฑ์นั้นมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือไม่นั้น จะพิจาณาจากค่าสัมบูรณ์ของ *DFBETAS* ถ้า $|DFBETAS|_i > 1$ สำหรับข้อมูลขนาดเล็กและขนาดกลาง และ $|DFBETAS|_i > 2/\sqrt{n}$ สำหรับข้อมูลขนาดใหญ่ สำหรับขั้นตอนการศึกษาลักษณะข้อมูลเบื้องต้นแสดงตามภาพที่ 3-7

ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะข้อมูลเบื้องต้น

สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ที่พัฒนาขึ้น เริ่มจากให้คำนวณส่วนเหลือแล้วคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า*DMST* ดังนี้

$$DMST = med\left\{\left|r_i^* - r_j^*\right|\right\}$$

เมื่อ *med* คือค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่ i หรือ r_i^* และส่วนเหลือที่ j หรือ r_j^* ที่เลือกมาจากระยะทางแบบยุคลิด และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม ทั้งนี้เมื่อได้ค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือแล้ว จึงนำมาใช้หาค่าน้ำหนักที่นำมาใช้ประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การถดถอยดังนี้

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y})$$

$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า Sปรับแก้

$\underline{X}$ คือ เมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{X}'$ คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{Y}$ คือ เวกเตอร์ของค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์

Q^{DMST} คือ เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า *DMST*

เมื่อได้สมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศแล้ว จึงคำนวณค่าความแม่นยำของการพยากรณ์จากค่า *MAPE* ที่เป็นค่าร้อยละความถูกต้องของการพยากรณ์ กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 10% ดังนี้

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left| \underline{Y}_i - \underline{\hat{Y}}_i \right|}{\underline{Y}_i} \right) \times 100\% \ \leq 10\%$$

เมื่อ $\underline{Y}_i$ คือ เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (ล้านบาท)

$\underline{\hat{Y}}_i$ คือ เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (ล้านบาท) ที่พยากรณ์ขึ้นจากจำนวนแรงงานที่ไปทำงานในประเทศต่าง ๆ สามารถแสดงขั้นตอนการพยากรณ์ได้ตามภาพที่ 3-8 ที่อธิบายได้ดังนี้

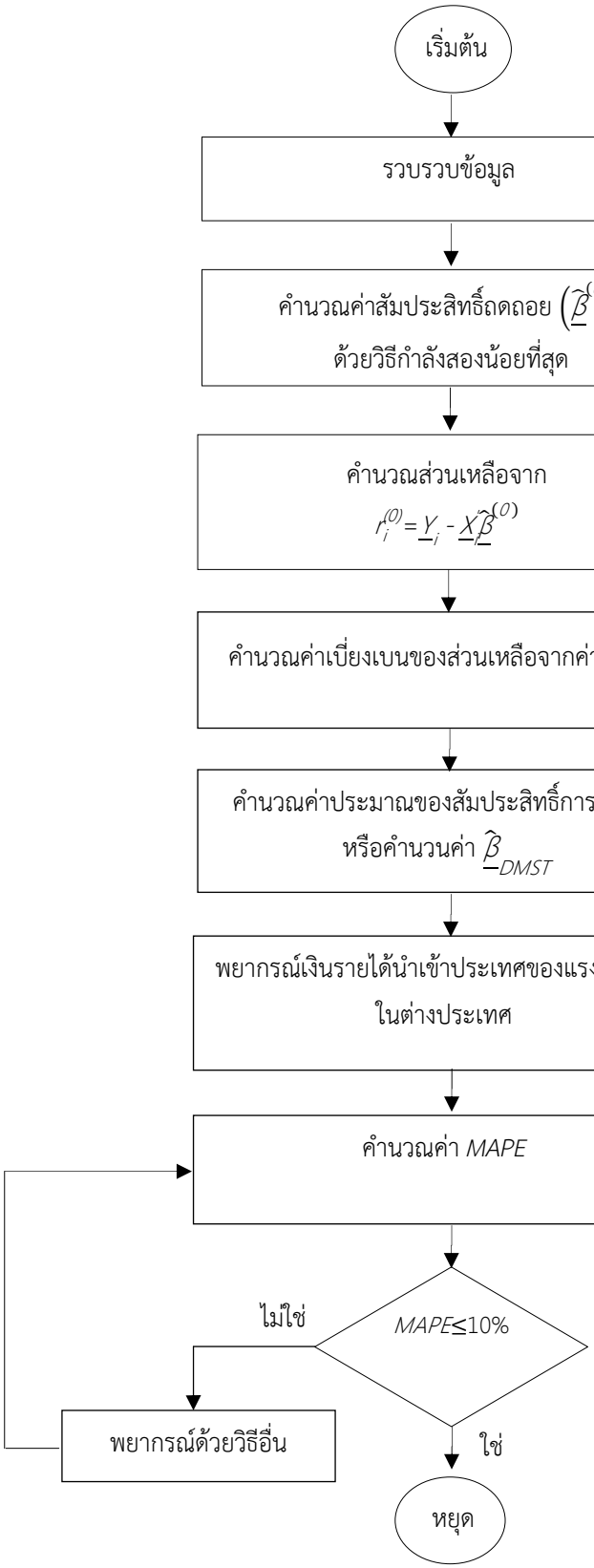
1. รวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย

2. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแทนด้วย $\underline{\hat{\beta}}^{(0)}$

3. คำนวณส่วนเหลือจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ในข้อ 2 และคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจากค่าสถิติ *DMST* ที่พัฒนาขึ้น

4. นำค่า *DMST* ไปใช้คำนวณค่าน้ำหนัก และค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ ด้วยวิธี IRLS และสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

5. พยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ซึ่งหากพบว่า *MAPE* มีค่าไม่เกิน 10% แสดงว่า สมการพยากรณ์นี้ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เป็นไปตามสมมุติฐานที่กำหนด แต่ถ้าไม่เป็นไปตามเกณฑ์นี้แสดงว่า การพยากรณ์ด้วยวิธีการนี้ยังไม่เหมาะสม ซึ่งอาจพิจารณาการพยากรณ์ด้วยวิธีการอื่นต่อไป



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยใช้วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ประกอบด้วยผลการวิจัย 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ตอนที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S

ตอนที่ 3 ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยวิธีตัวประมาณค่า *S* ปรับแก้

กำหนดความหมายของคำย่อและสัญลักษณ์ ดังนี้

MAD	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย
DMST	คือ ค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกตที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุดภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม
Q^{DMST}	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มาจากค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกตที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุด
Min	คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูลชุดใด ๆ
Max	คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลชุดใด ๆ
Mean	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดใด ๆ
Median	คือ ค่ามัธยฐานของข้อมูลชุดใด ๆ
Mode	คือ ค่าฐานนิยมของข้อมูลชุดใด ๆ
SD	คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุดใด ๆ
Skewness	คือ ความเบ้ของข้อมูลชุดใด ๆ
Kurtosis	คือ ความโด่งของข้อมูลชุดใด ๆ
K-S	คือ ค่าสถิติของ Komogorov-Smirnov
S-W	คือ ค่าสถิติของ Shapiro-Wilk
TAIWAN	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน
SINGAPORE	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์
MALASIA	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศมาเลเซีย
JAPAN	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น

ISALAEL	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศอิสราเอล
OTHER	คือ ตัวแปรที่แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศอื่น ๆ
INCOME	คือ รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยที่ทำงานในต่างประเทศ
Beta 0	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 1 (ค่าประมาณของจุดตัดแกน Y)
Beta 1	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 2
Beta 2	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 3
Beta 3	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 4
Beta 4	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 5
Beta 5	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 6
Beta 6	คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าที่ 7
AS	คือ วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้
S	คือ วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S
LS	คือ วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด
RMSE	คือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
MAPE	คือ ค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

ผลการศึกษาแนวทางการพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ ด้วยการปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า S โดยนำค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นตามสมการที่ 4.1 มาใช้แทนค่า *MAD* เพื่อคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ ดังนี้

$$DMST = med\left\{\left|r_i^* - r_j^*\right|\right\} \tag{4.1}$$

เมื่อ *med* คือค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่ i หรือ r_i^* และส่วนเหลือที่ j หรือ r_j^* ที่เลือกมาจากระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree) ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม (Prim's Algorithm)

ทั้งนี้ค่า *DMST* มีสมบัติคล้ายกับค่า *MAD* คือ มีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50% และมีสมบัติ Affine Equivariance ที่แสดงได้ดังนี้

1. ค่า *DMST* มีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50%

สำหรับค่าสังเกตจำนวน n ค่า จากตัวแปร X ใด ๆ หรือ $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ ค่า *DMST* จะมีจุดเปลี่ยนข้อมูล แทนด้วย ε_n^* ที่มีค่าดังนี้

$$\varepsilon_n^* = min\left\{\varepsilon_n^+(DMST, X)\ ,\ \varepsilon_n^-(DMST, X)\right\} \tag{4.2}$$

เมื่อ $\varepsilon_n^+(DMST, X)$ เป็นจุดเปลี่ยนข้อมูลของ *DMST* ที่มีขอบเขตบนน้อยที่สุด (Supremum) แสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon_n^+(DMST, X) = min\left\{\frac{m}{n}\ ;\ sup_{X'} DMST = \infty\right\} \tag{4.3}$$

ค่า $\varepsilon_n^-(DMST, X)$ เป็นจุดเปลี่ยนข้อมูลของ *DMST* ที่มีขอบเขตล่างมากที่สุด (Infimum) แสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon_n^-(DMST, X) = min\left\{\frac{m}{n}\ ;\ inf_{X'} DMST = 0\right\} \tag{4.4}$$

เมื่อ X' แทนค่าสังเกตใด ๆ ที่มีค่าปนเปื้อน (Contaminate) จากค่าสังเกตของตัวแปร X จำนวน m ค่า จะได้จุดเปลี่ยนข้อมูลของค่า *DMST* ตามสมการที่ 4.5 และ 4.6 ดังนี้

$$\varepsilon_n^+(DMST,X) = [(n+1)/2]/n \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_n^-(DMST,X) = [n/2]/n \quad (4.6)$$

เมื่อ $\varepsilon_n^+(DMST,X)$ แทน Explosion Breakdown Point และ$\varepsilon_n^-(DMST, X)$ แทน Implosion Breakdown Point

ดังนั้น จาก 4.5 และ 4.6 จะได้จุดเปลี่ยนข้อมูลของ *DMST* ดังนี้

$$\varepsilon_n^*(DMST,X) = min\{\varepsilon_n^+(DMST,X) , \varepsilon_n^-(DMST,X)\} = [n/2]/n$$

เมื่อ $m = n/2$ แสดงว่า $\varepsilon_n^*(DMST,X) = 50\%$ หรือค่า *DMST* มีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50% สามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

สำหรับตัวแปร X ใด ๆ ที่ $X = \{x_1,x_2,...,x_n\}$ ให้ $\varepsilon_n^+=\varepsilon_n^+(DMST,X)$ และ $\varepsilon_n^- = \varepsilon_n^-(DMST,X)$ เมื่อ $DMST = med\left\{\left|x_i^* - x_j^*\right|\right\}$ ในขั้นตอนแรกจะแสดงให้เห็นว่า $\varepsilon_n^- \le (n/2)/n$ เมื่อ $m = n/2$

ถ้า X' แทนค่าสังเกตใด ๆ ที่มีค่าปนเปื้อนที่เกิดการแทนค่า x_1 ลงในค่าสังเกต $x_2,...,x_{\frac{n}{2}+1}$ จะได้ $\text{med}\left\{\left|x_i' - x_j'\right|\right\}=0$ หรือ $DMST\left(X'\right)=0$ สำหรับค่าสังเกตจำนวน $\frac{n}{2}+1$ ค่าที่ถูกแทนที่ด้วย x_i' แสดงว่า สามารถหาค่า *DMST* ได้เมื่อมีค่านอกเกณฑ์จำนวน $m = \frac{n}{2}+1$ ค่า

จึงทำให้ $\varepsilon_n^- \ge (n/2)/n$ $\left(\frac{m}{n} = \frac{(n/2)+1}{n} \ge \frac{(n/2)}{n}\right)$

ตัวอย่างเช่นถ้าให้ $x_1,x_2,x_3,...,x_{\frac{n}{2}}, x_{\frac{n}{2}+1},...,x_n$ เมื่อ $n = 50$ จะได้ $\frac{n}{2}+1=26$ จึงได้ $\varepsilon_n^- = \varepsilon_n^-(DMST,X)=\frac{m}{n}=\frac{26}{50}$ ค่าซึ่งมากกว่าจำนวน $(n/2)/n$ จะได้ $\varepsilon_n^- \ge (n/2)/n$ ดังนั้นหากพิสูจน์ในกรณีเดียวกันในทางตรงข้ามจะได้ $\varepsilon_n^- \le (n/2)/n$

ทั้งนี้หากพิจารณาในกรณีที่ให้ X' มีจำนวนน้อยกว่า $\frac{n}{2}$ เมื่อแทนที่ใน X จะได้ $\text{med}\left\{\left|x_i' - x_j'\right|\right\} \ge min_{i<j}\frac{\left|x_i - x_j\right|}{2} = \delta > 0$ สำหรับทุกค่า i เมื่อ $i = 1,2,..., n$ ซึ่งจะทำให้ $DMST\left(X'\right) > c\,\delta$ แสดงว่าสามารถหาค่า*DMST* ได้ในกรณีที่มีค่าปนเปื้อนน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของข้อมูลทั้งหมด

ต่อไปจะเป็นการแสดงให้เห็นว่า $\varepsilon_n^+ \ge [(n+1)/2]/n$ ถ้า X' แทนค่าสังเกตใด ๆ ที่มีค่าปนเปื้อนที่เกิดการแทนค่า x_1 ด้วยค่า $x_{(n)}+L$ แทนค่า x_2 ด้วยค่า $x_{(n)}+2L$ ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแทนค่า $x_{[(n+1)/2]}$ ด้วยค่า $x_{(n)}+[(n+1)/2]\,L$ เมื่อ $L > 0$ แล้วจะได้ $\text{med}\left\{\left|x_i' - x_j'\right|\right\} \ge L$

สำหรับทุก ๆ ค่า i และถ้าให้ L มีค่าเข้าใกล้ ∞ ค่า *DMST* จะมีค่ามากขึ้นภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นหากพิสูจน์ในทางตรงกันข้ามก็จะได้ $\varepsilon_n^+ \le [(n+1)/2]/n$

2. ค่าสถิติ *DMST* มีสมบัติ Affine Equivariance

ค่าสถิติ *DMST* มีสมบัติ Affine Equivariance คือ ถ้าแปลงค่าสังเกต x_i เป็น ax_i จะได้ *DMST*ใหม่เป็น $|a|DMST$ หรือ $\text{med}\left|ax_i^* - ax_j^*\right| = |a|\ \text{med}\left|x_i^* - x_j^*\right|$ เมื่อ a เป็นค่าคงที่ใด ๆ สามารถพิสูจน์ได้ ดังนี้

จาก $DMST = med\left\{\left|x_i^* - x_j^*\right|\right\}$ ถ้าให้ x_i มีค่าเป็น ax_i จะได้

$$\left|ax_1^* - ax_2^*\right|,\left|ax_1^* - ax_3^*\right|,\left|ax_1^* - ax_4^*\right|,\ldots,\left|ax_1^* - ax_{n-1}^*\right|,\ldots,\left|ax_2^* - ax_3^*\right|,\ldots,\left|ax_2^* - ax_{n-2}^*\right|,\ldots,\left|ax_n^* - ax_{n-1}^*\right|$$

$$= |a|\left|x_1^* - x_2^*\right|,|a|\left|x_1^* - x_3^*\right|,|a|\left|x_1^* - x_4^*\right|,\ldots,|a|\left|x_1^* - x_{n-1}^*\right|,\ldots,|a|\left|x_2^* - x_3^*\right|,\ldots,|a|\left|x_2^* - x_{n-2}^*\right|,\ldots,|a|\left|x_n^* - x_{n-1}^*\right|$$

ดังนั้น $\text{med}\left|ax_i^* - ax_j^*\right| = |a|\ \text{med}\left|x_i^* - x_j^*\right|$ หรือ $DMST = |a|\ DMST$ เมื่อแปลงค่าสังเกต x_i เป็น ax_i

เมื่อนำค่า *DMST* มาใช้คำนวณค่าน้ำหนัก Q^{DMST} ในขั้นตอนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS จึงได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ ตามสมการที่ 4.7

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = \left(\underline{X}^{'}Q^{DMST}\underline{X}\right)^{-1}\left(\underline{X}^{'}Q^{DMST}\underline{Y}\right) \qquad (4.7)$$

$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า Sปรับแก้

$\underline{X}$ คือ เมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{X}^{'}$ คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{Y}$ คือ เวกเตอร์ค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์

Q^{DMST} คือ เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า *DMST*

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ที่ใช้หลักการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากฟังก์ชันของส่วนเหลือ (Residual Function) หรือ $\rho(r_i)$ ที่น้อยที่สุด ดังนี้

$$\underset{\beta}{Minimize}\sum_{i=1}^{n}\rho(r_i) = \underset{\beta}{Minimize}\sum_{i=1}^{n}\rho\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i^{'}\underline{\beta}\right)$$

โดย $X_i^{'}$ แทนสมาชิกในแถวที่ i ของเมทริกซ์จากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย X ฟังก์ชัน $\rho\,(r_i)$ เป็นฟังก์ชันของส่วนเหลือที่สมมาตร (Symmetry) โดย Rousseeuw and Yohai (1984), Montgomery et al. (2006) และ Panik (2009) ได้แนะนำให้ใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกีมาหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีลักษณะของฟังก์ชันดังนี้

$$\rho\,(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^4} & ;\ |u_i| \le c \\ \frac{c^6}{6} & ;\ |u_i| > c \end{cases}$$

หากปรับส่วนเหลือเป็นส่วนเหลือมาตรฐาน (Standardized Residual) โดยนำส่วนเหลือมาหารด้วยค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ โดยให้ s แทนค่าประมาณของค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือจะได้วัตถุประสงค์ของวิธีตัวประมาณค่า S ใหม่ดังนี้

$$Minimize_{\beta} \sum_{i=1}^{n} \rho\left(\frac{r_i}{s}\right) = Minimize_{\beta} \sum_{i=1}^{n} \rho\left(\frac{Y_i - X_i^{'}\beta}{s}\right) \qquad (4.8)$$

จากสมการที่ 4.8 ถ้าให้ $s = DMST$ จะได้วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อแก้สมการอนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่ง (First Partial Derivative) และสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สอง (Second Partial Derivative) ของฟังก์ชันส่วนเหลือเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย β_j เมื่อ $j = 0, 1, \ldots, p$ ดังนี้

$$\rho^{'}\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right) = \frac{d}{d\hat{\beta}_j}\left(\rho\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right)\right) = \frac{d}{dr_i}\left(\rho\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right)\right) \cdot \frac{dr_i}{d\hat{\beta}_j}$$

เมื่อ $\rho^{''}\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right) = \frac{d}{d\hat{\beta}_j}\left(\rho^{'}\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right)\right) = \frac{d}{dr_i}\left(\rho^{'}\left(\frac{r_i^*}{DMST}\right)\right) \cdot \frac{dr_i}{d\hat{\beta}_j}$

ถ้าให้ ψ แทนอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ ρ และ x_{ij} เป็นค่าสังเกตที่ i จากสมการถดถอยที่ j ที่มีค่า $x_{i0} = 1$ จะได้สมการที่ 4.9

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij}\psi\left(\frac{Y_i - X_i^{'}\beta}{DMST}\right) = 0 \qquad (4.9)$$

เมื่อ $j = 0,1,\ldots,k$ สามารถจัดสมการ 4.9 ให้เป็นรูปแบบสำหรับการหาคำตอบได้ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{x_{ij}\left\{\psi\left[\frac{\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right)}{DMST}\right]\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right)/DMST\right\}\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\underline{\beta}\right)}{DMST} = 0 \qquad (4.10)$$

ถ้าให้ $Q_i^{DMST(0)}$ เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกตที่ i ที่ได้จากค่า $\hat{\beta}_0$ ที่มีค่าดังนี้

$$Q_{ii}^{DMST} = \begin{cases} \dfrac{\rho'\left(\dfrac{\underline{Y}_i + u - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}^*}{DMST}\right)}{\left(\dfrac{\underline{Y}_i + u - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}^*}{DMST}\right)} & ; \left|\dfrac{\underline{Y}_i + u - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}^*}{DMST}\right| \neq 0 \\ \left(-x_{ij}\right)\rho''\left(\dfrac{\underline{Y}_i + u - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}^*}{DMST}\right) & ; \left|\dfrac{\underline{Y}_i + u - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}^*}{DMST}\right| = 0 \end{cases}$$

จากสมการ 4.10 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น $\sum_{i=1}^{n} X_{ij} Q_{ii}^{DMST(0)}\left(\underline{Y}_i - \underline{X}_i'\hat{\underline{\beta}}\right) = 0$ เมื่อจัดรูปแบบใหม่ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปในรูปแบบเมทริกซ์จะได้ตามสมการที่ 4.11

$$\underline{X}' Q_{ii}^{DMST(0)} \underline{X} \hat{\underline{\beta}}^* = \underline{X}' Q_{ii}^{DMST(0)} \underline{Y} \qquad (4.11)$$

เมื่อ $Q_{ii}^{DMST(0)}$ เป็นเมทริกซ์น้ำหนัก (Weight Matrix) ที่มีมิติ $n \times n$ จากสมการที่ 4.11 ที่มีสมาชิกทั้งหมดเป็น $q_{11}^{DMST(0)}$, $q_{22}^{DMST(0)}$, $q_{33}^{DMST(0)}$,..., $q_{nn}^{DMST(0)}$ และเมื่อนำไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกตจะได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย $\hat{\underline{\beta}}_1^*$ ตามสมการที่ 4.12

$$\hat{\underline{\beta}}_1^* = \left(\underline{X}' Q_{ii}^{DMST(0)} \underline{X}\right)^{-1} \underline{X}' Q_{ii}^{DMST(0)} \underline{Y} \qquad (4.12)$$

โดยค่า $\hat{\underline{\beta}}_1^*$ ที่ได้จะนำไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณรอบถัดไป และจะกระทำซ้ำไปจนกระทั่งลู่เข้า (Converge) สู่คำตอบ ทำให้ได้คำตอบของ $\hat{\underline{\beta}}_i^*$ ที่มีค่าเดียวเป็นคำตอบที่ดีที่สุด คือ $\hat{\underline{\beta}}_{DMST}$ แสดงได้ตามสมการที่ 4.13

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y}) \qquad (4.13)$$

$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

$\underline{X}$ คือ เมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{X}'$ คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{Y}$ คือ เวกเตอร์ค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์

Q^{DMST} คือ เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า *DMST*

เมื่อได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y})$ จากค่าน้ำหนัก Q^{DMST} ค่า $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ ที่ได้ใหม่นี้จะเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของค่าพารามิเตอร์ $\underline{\beta}$ ที่มีความแปรปรวนเป็น $V(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}) = \sigma^2 (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1}$ สามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

การพิสูจน์คล้ายกับตัวประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Square Estimator) ดังนี้

$$E(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}) = E[(\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} \underline{X}' (Q^{DMST})^{-1} \underline{Y}]$$

$$= (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} \underline{X}' (Q^{DMST})^{-1} E(\underline{Y})$$

$$= \left(\underline{X}' (Q^{DMST})^{-1} \underline{X}\right)^{-1} \underline{X}' (Q^{DMST})^{-1} \underline{X} \beta$$

$$= \beta$$

ทั้งนี้ $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ $\underline{\beta}$ ที่มีความแปรปรวนเป็น $V(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}) = \sigma^2 (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1}$ สามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

จาก $\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y})$

จะได้ $\vee(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}) = \vee\left((\underline{X}' Q^{DMST} \underline{X})^{-1} (\underline{X}' Q^{DMST} \underline{Y})\right)$

$$=(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}(\underline{X}'Q^{DMST})\,V(\underline{Y})(Q^{DMST}\underline{X})(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

เมื่อ $V(\underline{Y}) = \sigma^2$

$$V\left(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}\right)=(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}(\underline{X}'Q^{DMST})\sigma^2(Q^{DMST})^{-1}(Q^{DMST}\underline{X})(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

$$=\sigma^2(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}(\underline{X}'Q^{DMST})(Q^{DMST})^{-1}(Q^{DMST}\underline{X})(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

$$=\sigma^2(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}(\underline{X}'Q^{DMST}X)(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

$$=\sigma^2(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

ดังนั้นค่า $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ จึงเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ $\underline{\beta}$ ที่มีความแปรปรวนเป็น $V\left(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}\right) = \sigma^2(\underline{X}'Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$

ตอนที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้สถานการณ์จำลอง 540 สถานการณ์ ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลการสร้างข้อมูลเพื่อกำหนดตัวอย่างที่นำมาใช้ในสถานการณ์จำลอง และผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ดังนี้

1. ผลการสร้างข้อมูลตัวอย่าง

ผลการสร้างข้อมูลเพื่อกำหนดตัวอย่างที่นำมาใช้ในสถานการณ์จำลองตามการแจกแจงของค่าสังเกต และความคลาดเคลื่อนที่กำหนด ประกอบด้วยตัวแบบความสัมพันธ์ต่อไปนี้

ตัวแบบที่ 1 คือ $Y_i = 2.565661 + 3.560336\,X_{1i} + \varepsilon_i$

ตัวแบบที่ 2 คือ $Y_i = 2.565661 + 3.560336\,X_{1i} + 4.547854X_{2i} + \varepsilon_i$

ตัวแบบที่ 3 คือ $Y_i = 2.565661 + 3.560336\,X_{1i} + 4.547854X_{2i} + 5.098574X_{3i} + \varepsilon_i$

ตัวแบบที่ 4 คือ $Y_i = 2.565661 + 3.560336\,X_{1i} + 4.547854X_{2i} + 5.098574X_{3i} + 3.653225X_{4i} + \varepsilon_i$

ตัวแบบที่ 5 คือ $Y_i = 2.565661 + 3.560336X_{1i} + 4.547854X_{2i} + 5.098574X_{3i}$

$$+3.653225X_{4i} + 2.874565\ X_{5i} + \varepsilon_i$$

ตัวแบบที่ 6 คือ $Y_i = 2.565661+3.560336\ X_{1i} + 4.547854X_{2i} + 5.098574X_{3i}$

$$+3.653225X_{4i} + 2.874565\ X_{5i} + 1.657849X_{6i} + \varepsilon_i$$

โดยที่ ε_i มีการแจกแจงแบบต่าง ๆ ได้แก่ แจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล

ทั้งนี้กำหนดให้ค่าสังเกตจากตัวแปรทำนายทั้ง 6 ตัวแปรมีการแจกแจงปรกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเป็น 100 หรือ $X_i \sim N(0,100)$ โดยค่านอกเกณฑ์มีการแจกแจงปรกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 และความแปรปรวนเป็น 100 หรือ $X_i \sim N(0,100)$ ที่ประกอบด้วยค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5, ร้อยละ 10, ร้อยละ 15, ร้อยละ 20, ร้อยละ 25 และร้อยละ 30 ภายใต้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20, 40, 60, 100 และ 200

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

2.1 ค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือที่ใช้สำหรับคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก

ค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือเป็นค่าสถิติเริ่มต้นที่ใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS ได้แก่ ค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างค่าสังเกตที่ได้เลือกมาจากวิธีต้นไม้ทอดข้ามที่น้อยที่สุด (*DMST*) ที่พัฒนาขึ้น เพื่อนำมาใช้กับวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับค่ามัธยฐานส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (*MAD*) ที่ใช้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล แสดงตามภาคผนวก ข-1 ถึง ข-3 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติแสดงตามภาคผนวก ข-1 พบว่า ค่า *MAD* มีค่ามากกว่าค่า *DMST* เฉพาะกรณีที่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 เมื่อมีร้อยละของค่านอกเกณฑ์และจำนวนพารามิเตอร์ดังนี้ ที่ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 มีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และ 6 ที่ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 มีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 ที่ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 มีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 6 และที่ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 30 มีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5

ผลการคำนวณค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงแกมมา แสดงตามภาคผนวก ข-2 พบว่าค่า *DMST* มีค่ามากกว่าค่า *MAD* ทุกกรณี และผลการคำนวณค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงไวบูลตามภาคผนวก ข-3 พบว่า ค่า *DMST* มีค่ามากกว่าค่า *MAD* ทุกกรณีเช่นเดียวกัน

2.2 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล แสดงตามภาคผนวกที่ ค-1 ถึง ค-3 ตามลำดับ โดยพบว่า ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัว

ประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S มีค่าไม่แตกต่างกันมากในทุกกรณี แต่จะแตกต่างจากวิธี LS

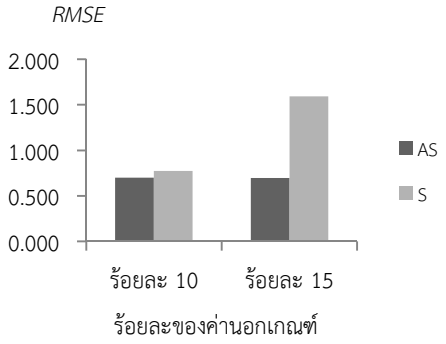
2.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อใช้ค่า *RMSE* มาเป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบ และใช้ค่า *MAPE* มาเป็นเกณฑ์การพยากรณ์ แสดงตามภาคผนวกที่ ง-1 ถึง ง-3 ตามลำดับ

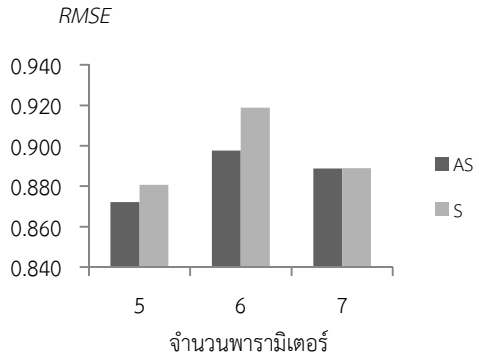
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธี LS วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แสดงได้ตามภาคผนวกที่ ง-1 ซึ่งพบว่า วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธี LS ทุกสถานการณ์ ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อจำแนกตามขนาดตัวอย่างแสดงได้ดังนี้

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 มีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ค่า *RMSE* จากตัวประมาณค่า S ปรับแก้ มีค่ามากกว่าตัวประมาณค่าวิธี S ในจำนวนพารามิเตอร์ทุกจำนวน ขณะที่เมื่อค่านอกเกณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 และ 15 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 7 ตามภาพที่ 4-1

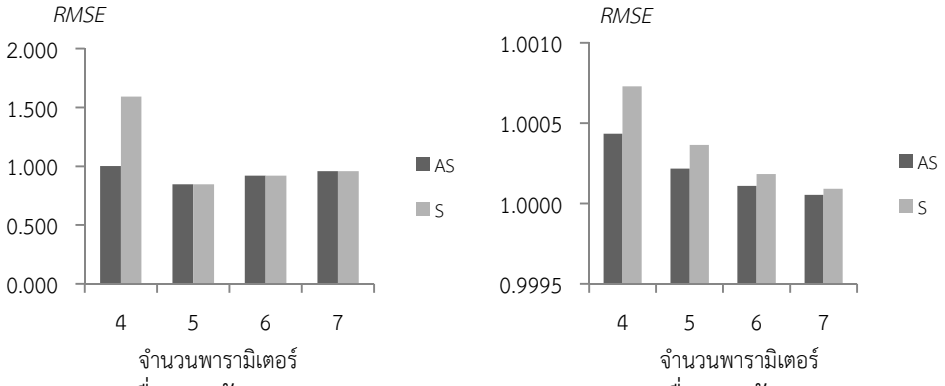
เมื่อค่านอกเกณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-2 และเมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 4 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-3 ก) และ ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 และ 15 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ



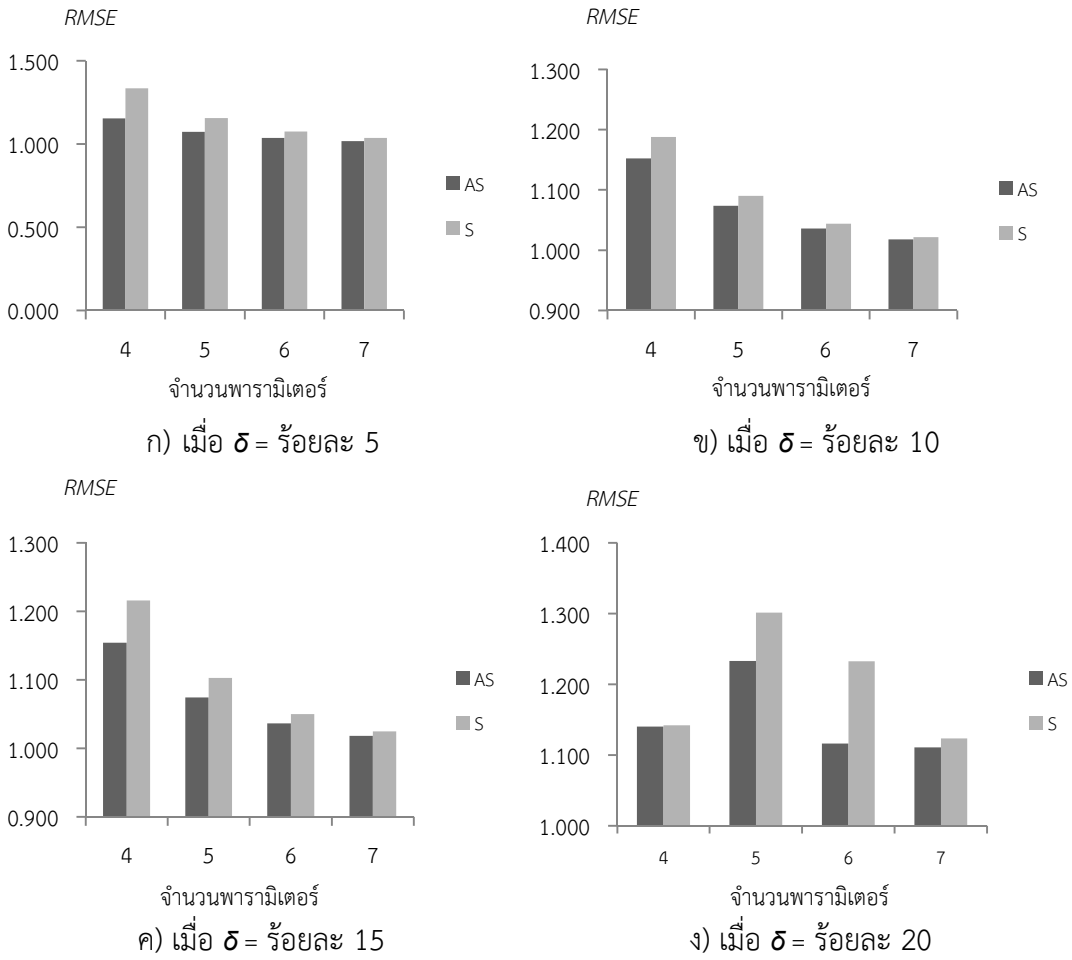
ภาพที่ 4-2 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และร้อยละของค่านอกเกณฑ์เท่ากับ 20 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ



ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 25 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-3 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 4 ถึง 7 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

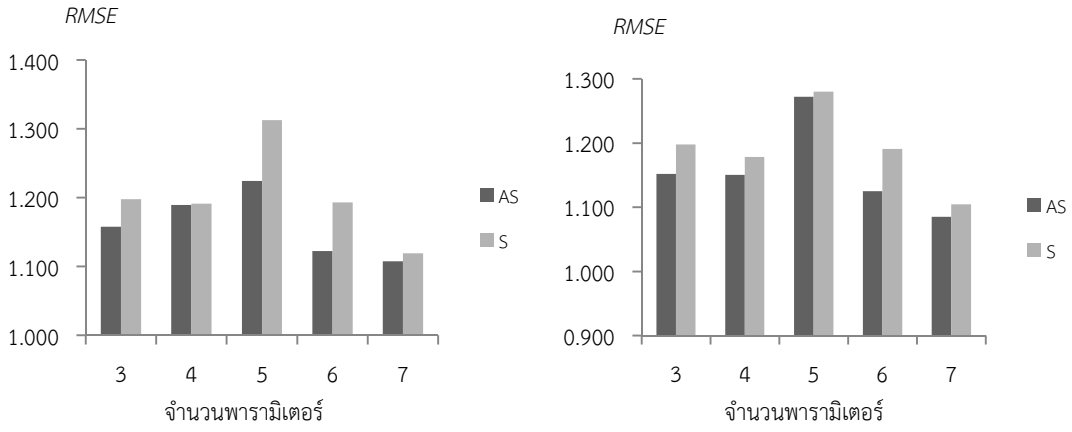
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 20 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-4 ก) ถึง ง) ตามลำดับ และเมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ที่จำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-5 ก) และ ข)



ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10

ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15 ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20

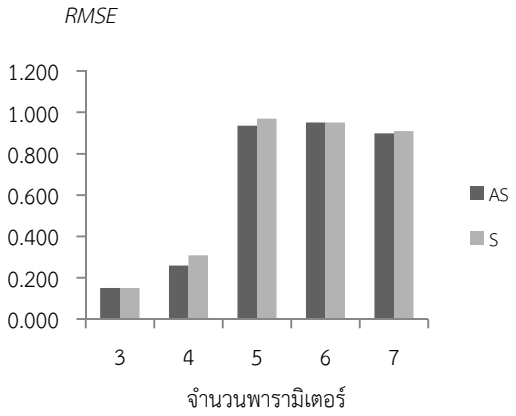
ภาพที่ 4-4 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 4 ถึง 7 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 20 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ



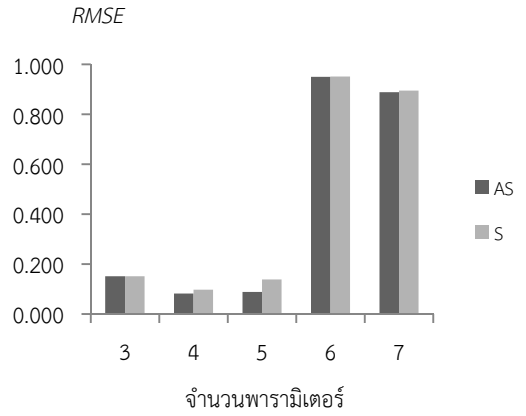
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 25 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-5 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

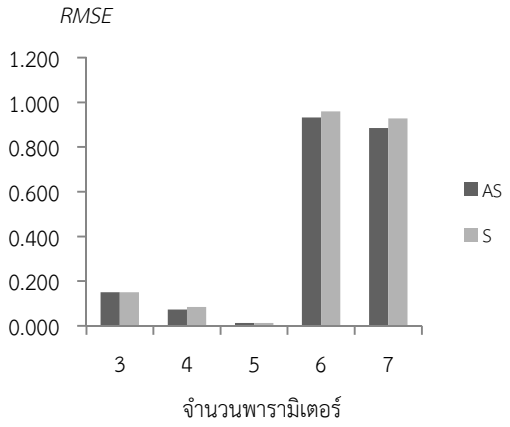
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่ค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 30 มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-6 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



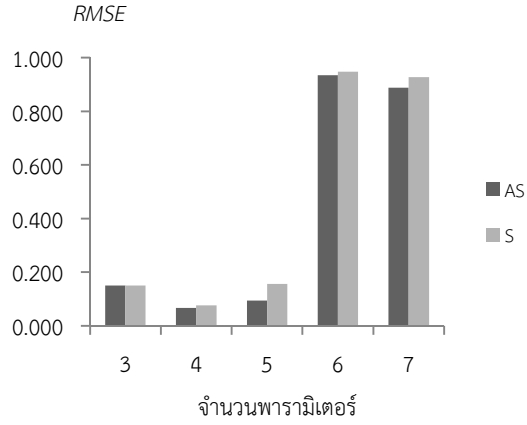
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5



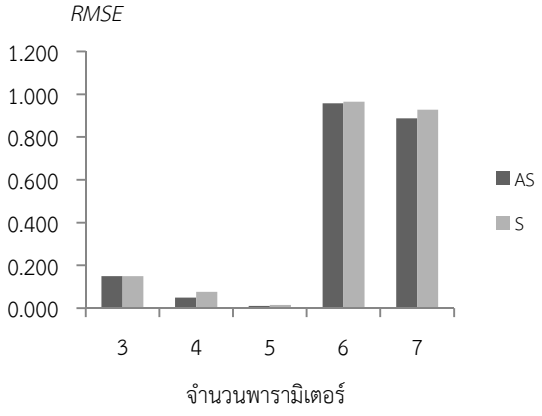
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



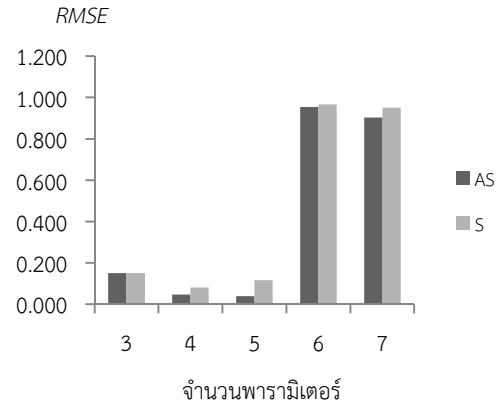
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



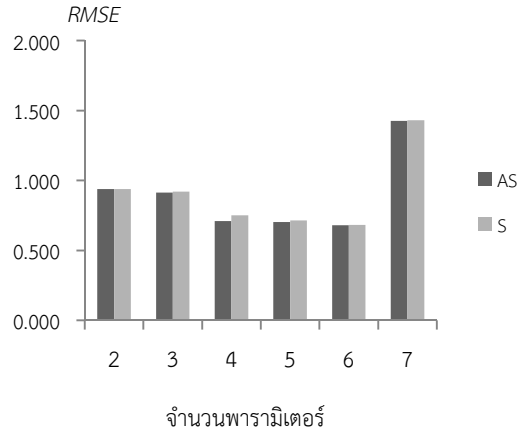
จ) เมื่อ δ = ร้อยละ25



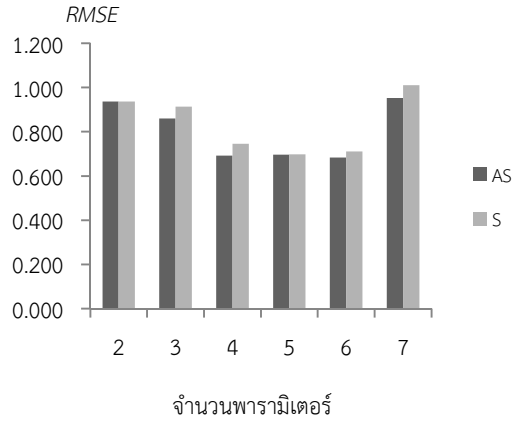
ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-6 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

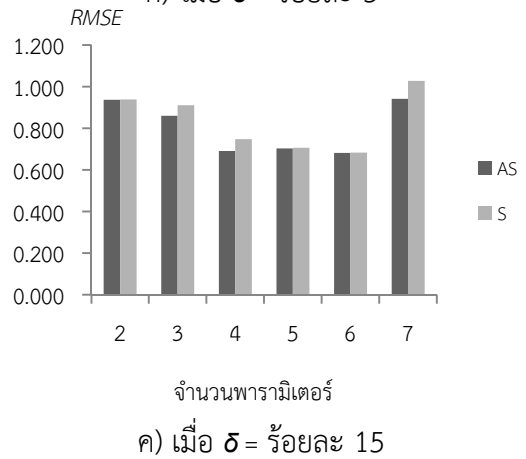
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่ค่านอกเกณฑ์และที่จำนวนพารามิเตอร์ทุกจำนวน ตามภาพที่ 4-7 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



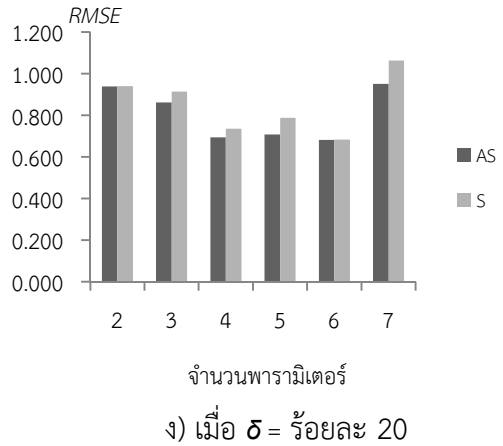
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5



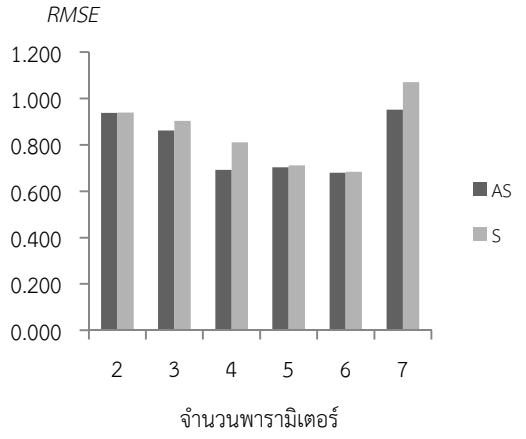
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



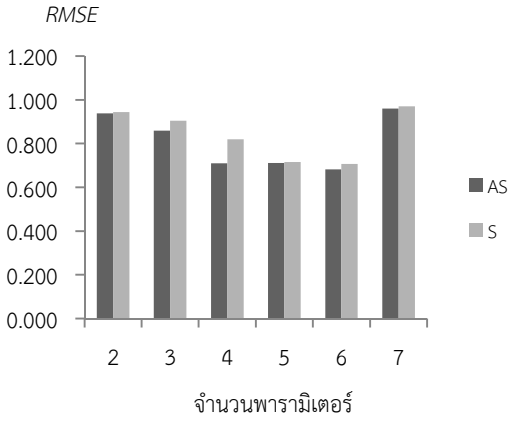
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



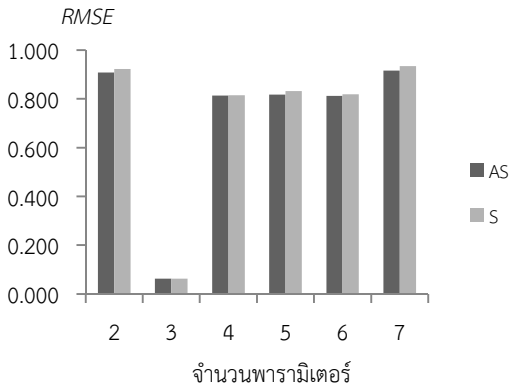
จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



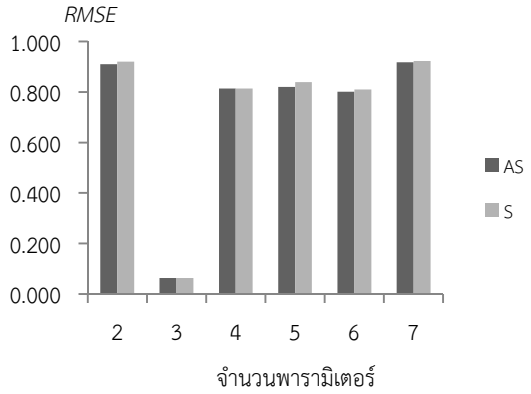
ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-7 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

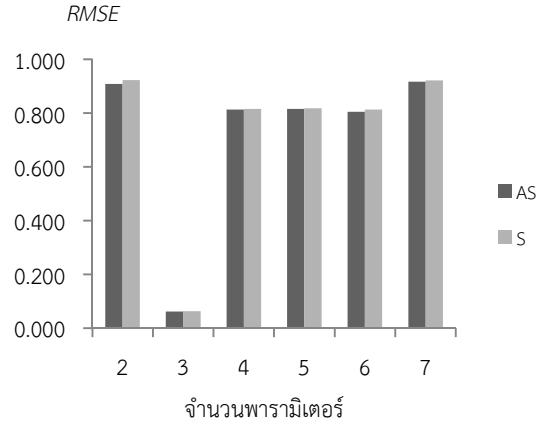
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่ค่านอกเกณฑ์และที่จำนวนพารามิเตอร์ทุกจำนวนตามภาพที่ 4-8 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



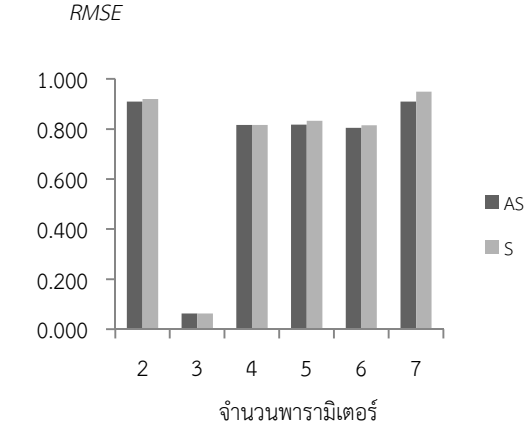
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5



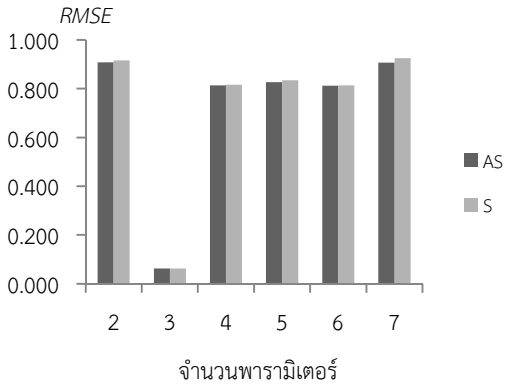
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



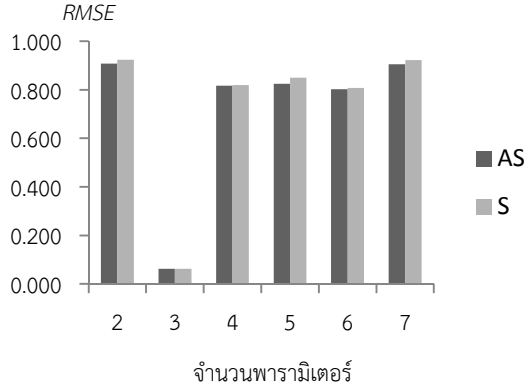
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-8 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

ดังนั้นจากผลการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติพบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้งหมด 141 สถานการณ์จาก 180 สถานการณ์ที่เป็นผลประกอบของขนาดตัวอย่าง (n) 5 เงื่อนไข ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ (δ) 6 เงื่อนไข และจำนวนพารามิเตอร์ (p) 6 เงื่อนไข สามารถจำแนกตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

n	δ	p					
20	10	7					
	15	7					
	20	5	6	7			
	25	4	5	6	7		
	30	4	5	6	7		
40	5	4	5	6	7		
	10	4	5	6	7		
	15	4	5	6	7		
	20	4	5	6	7		
	25	3	4	5	6	7	
	30	3	4	5	6	7	
60	5	3	4	5	6	7	
	10	3	4	5	6	7	
	15	3	4	5	6	7	
	20	3	4	5	6	7	
	25	3	4	5	6	7	
	30	3	4	5	6	7	
100	5	2	3	4	5	6	7
	10	2	3	4	5	6	7
	15	2	3	4	5	6	7
	20	2	3	4	5	6	7
	25	2	3	4	5	6	7
	30	2	3	4	5	6	7

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

n	δ	p					
200	5	2	3	4	5	6	7
	10	2	3	4	5	6	7
	15	2	3	4	5	6	7
	20	2	3	4	5	6	7
	25	2	3	4	5	6	7
	30	2	3	4	5	6	7

ทั้งนี้สามารถสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้ง 144 สถานการณ์ที่จำแนกตามขนาดตัวอย่าง ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ และจำนวนพารามิเตอร์ได้ตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 การสรุปจำนวนสถานการณ์วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ

n	20	40	60	100	200	รวม
จำนวนสถานการณ์	13	26	30	36	36	141
δ	5	10	15	20	25	30	รวม
จำนวนสถานการณ์	21	22	22	24	26	26	141
p	2	3	4	5	6	7	รวม
จำนวนสถานการณ์	12	20	26	27	27	29	141

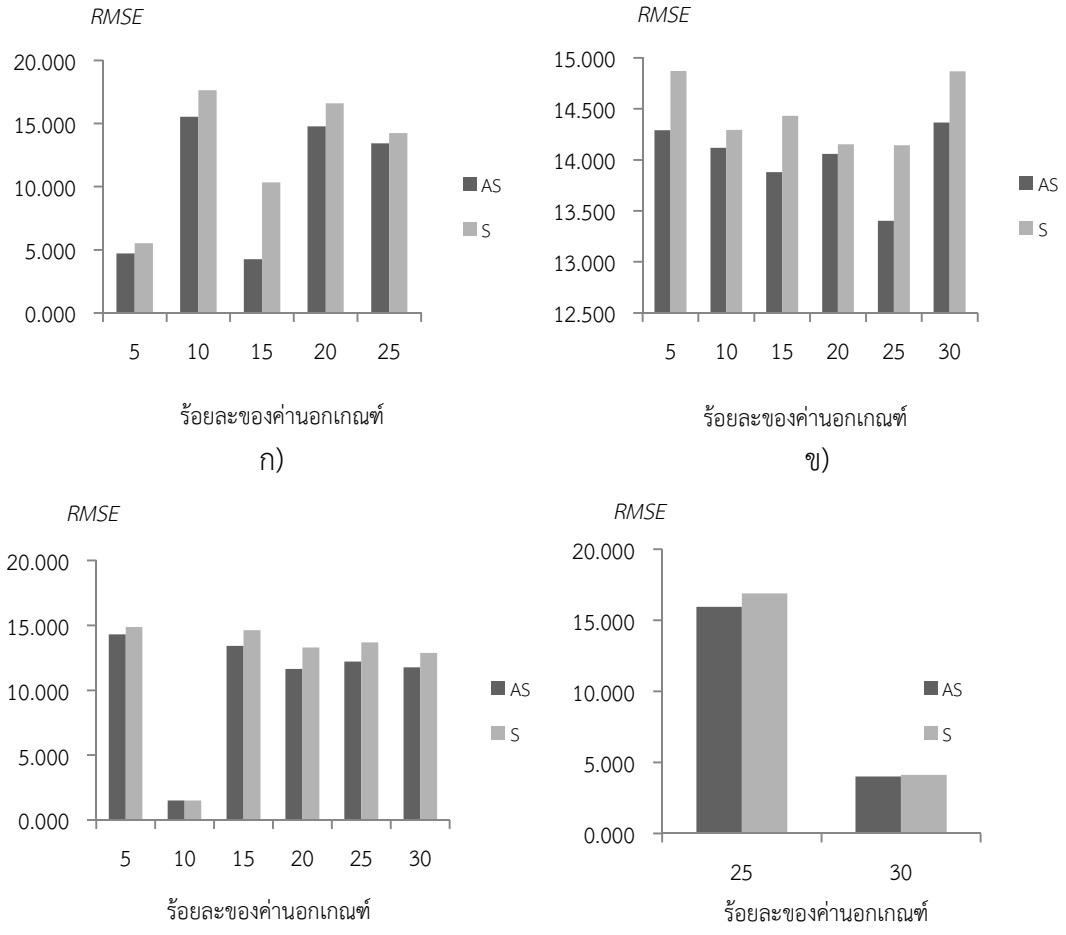
จากตารางที่ 4-2 พบว่า ทุกสถานการณ์ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และ 100 วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S นั่นคือ ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S แต่จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จะลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างลดลง ทั้งนี้หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากที่สุด เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 แต่จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จะลดลงไป เมื่อร้อยละของค่านอกเกณฑ์ลดลง และมีจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัว

ประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากที่สุด เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 7 ซึ่งจะลดลงไปเมื่อจำนวนพารามิเตอร์ลดลง

ผลการเปรียบเทียบค่า *MAPE* จากวิธี LS วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S และวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *MAPE* น้อยกว่าวิธี LS ทุกกรณี ทั้งนี้พบว่า ค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้และวิธีตัวประมาณค่า S มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10

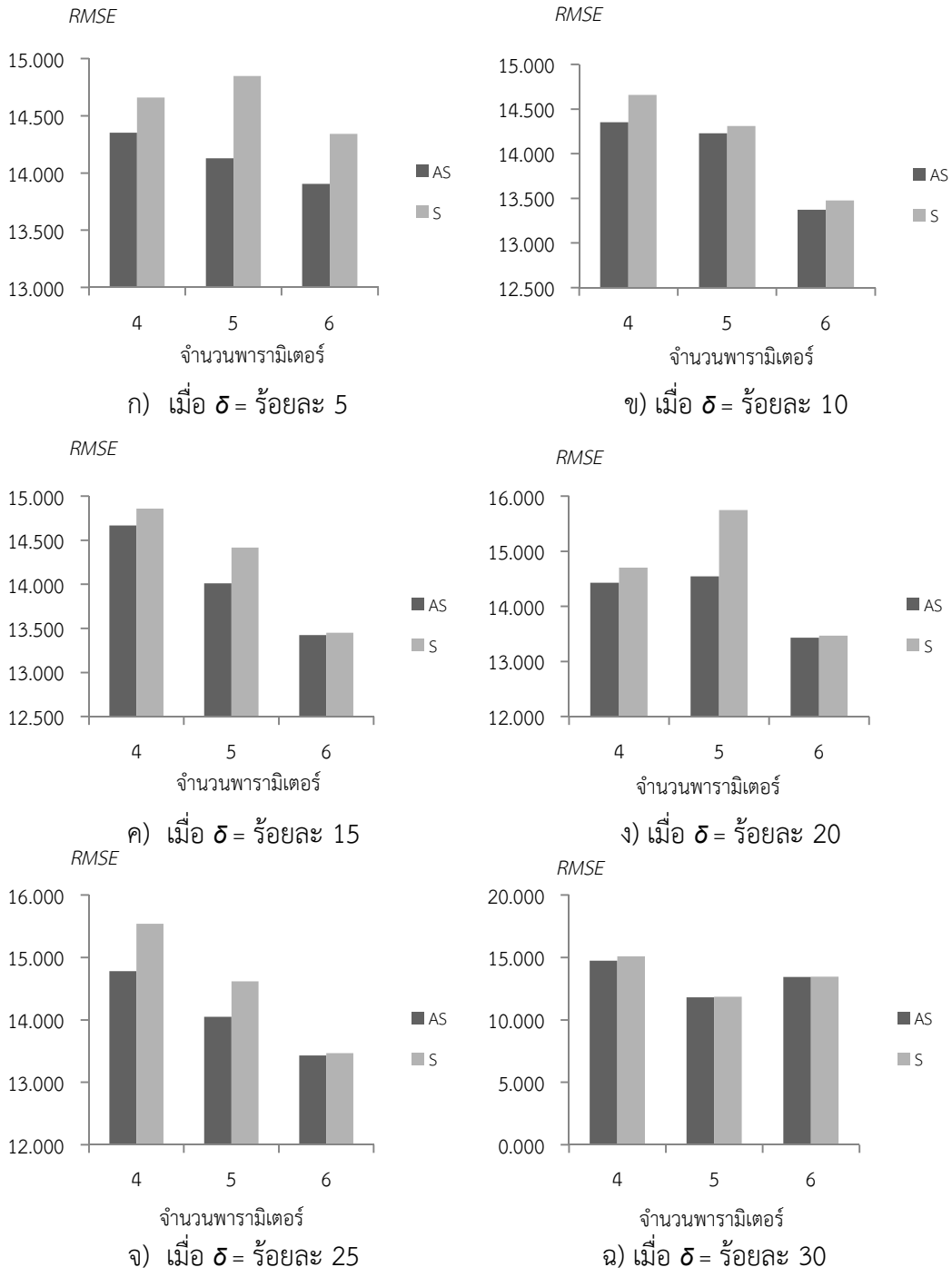
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้ง 3 วิธี เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา แสดงได้ตามภาคผนวกที่ ง-2 ซึ่งสามารถจำแนกตามขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ในค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 25 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2 ตามภาพที่ 4-9 ก) ตั้งแต่ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ถึง 30 เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 ตามภาพที่ 4-9 ข) และเมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 6 ตามภาพที่ 4-9 ค) และที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 7 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และร้อยละ 30 ตามภาพที่ 4-9 ง)



ภาพที่ 4-9 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่จำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 6 ในค่านอกเกณฑ์ทุกระดับ ตามภาพที่ 4-10 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



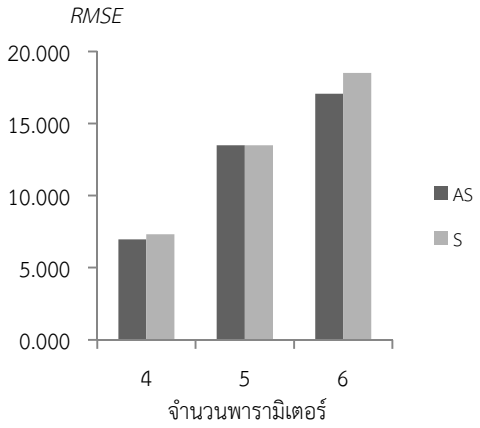
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10

ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15 ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20

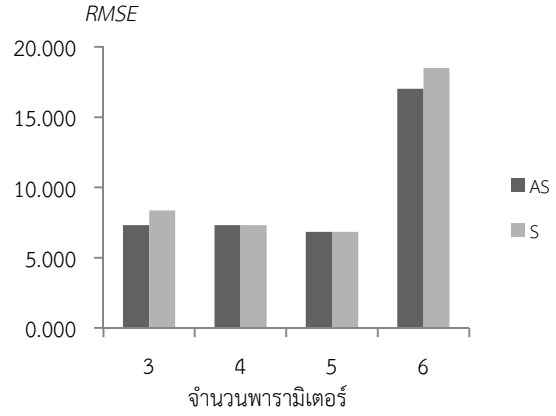
จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 25 ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-10 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

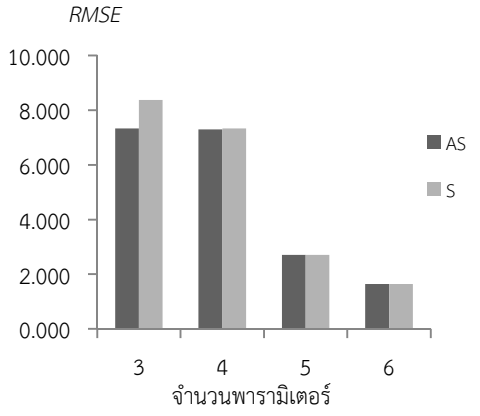
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่าน้อยกว่าค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-11 ก) และในค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 15 ถึง 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-11 ข) ถึง จ) ตามลำดับ



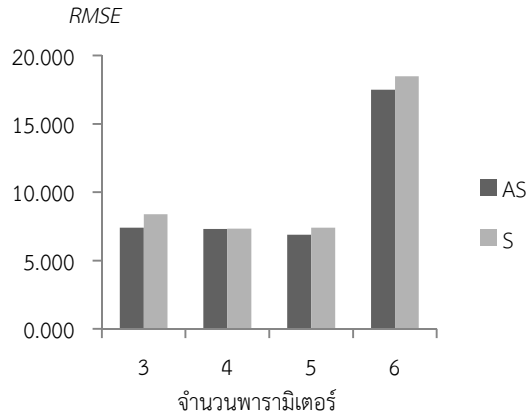
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



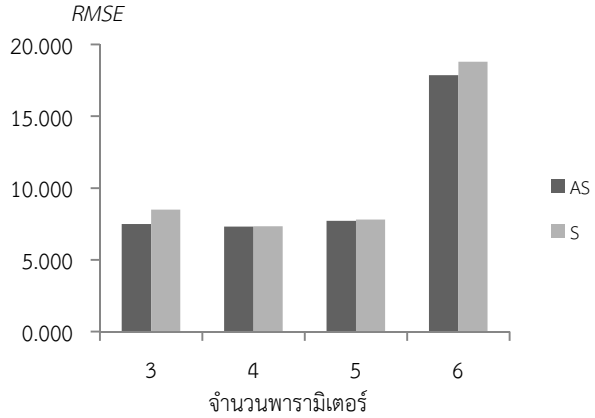
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



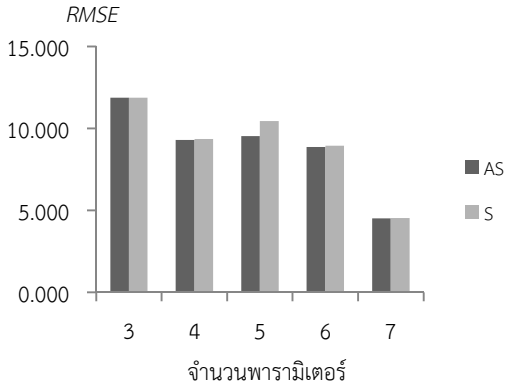
ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



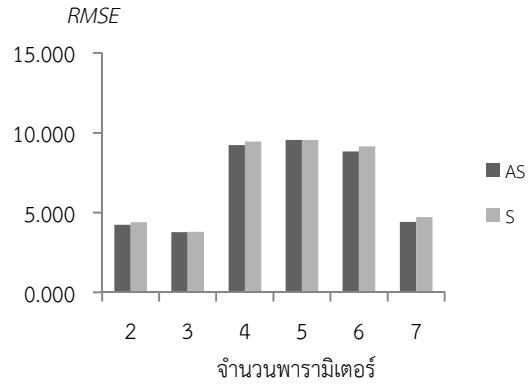
จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-11 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

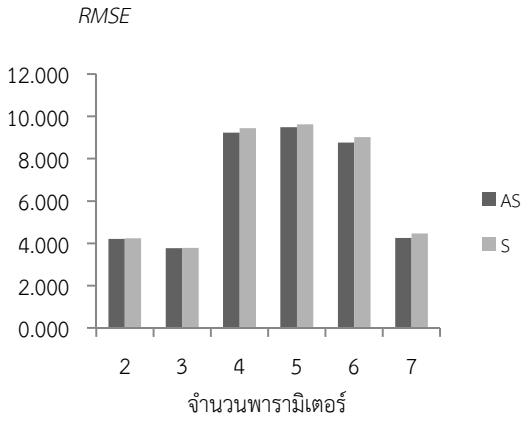
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-12 ก) และเมื่อค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 30 ที่ค่าพารามิเตอร์ทุกจำนวน ตามภาพที่ 4-12 ข) ถึง ฉ) ตามลำดับ



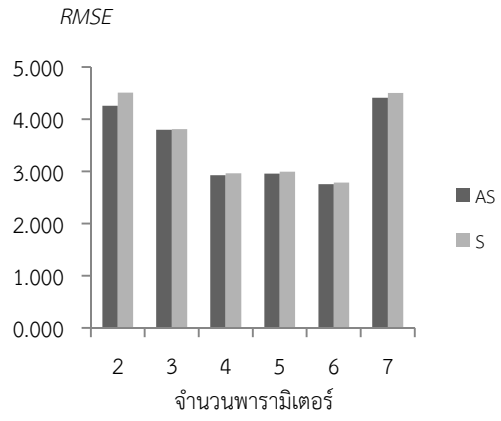
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5



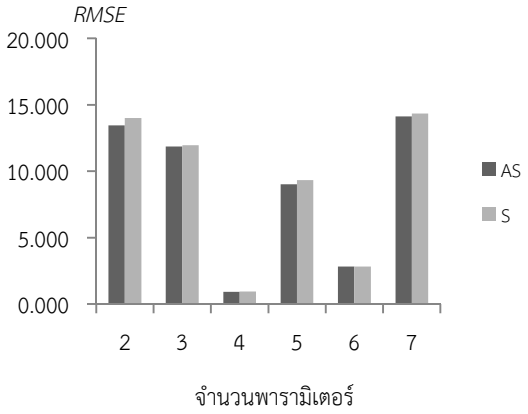
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



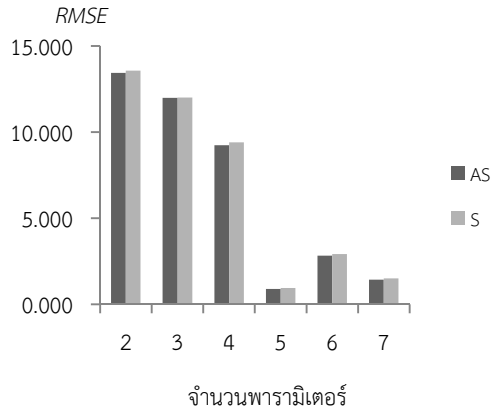
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



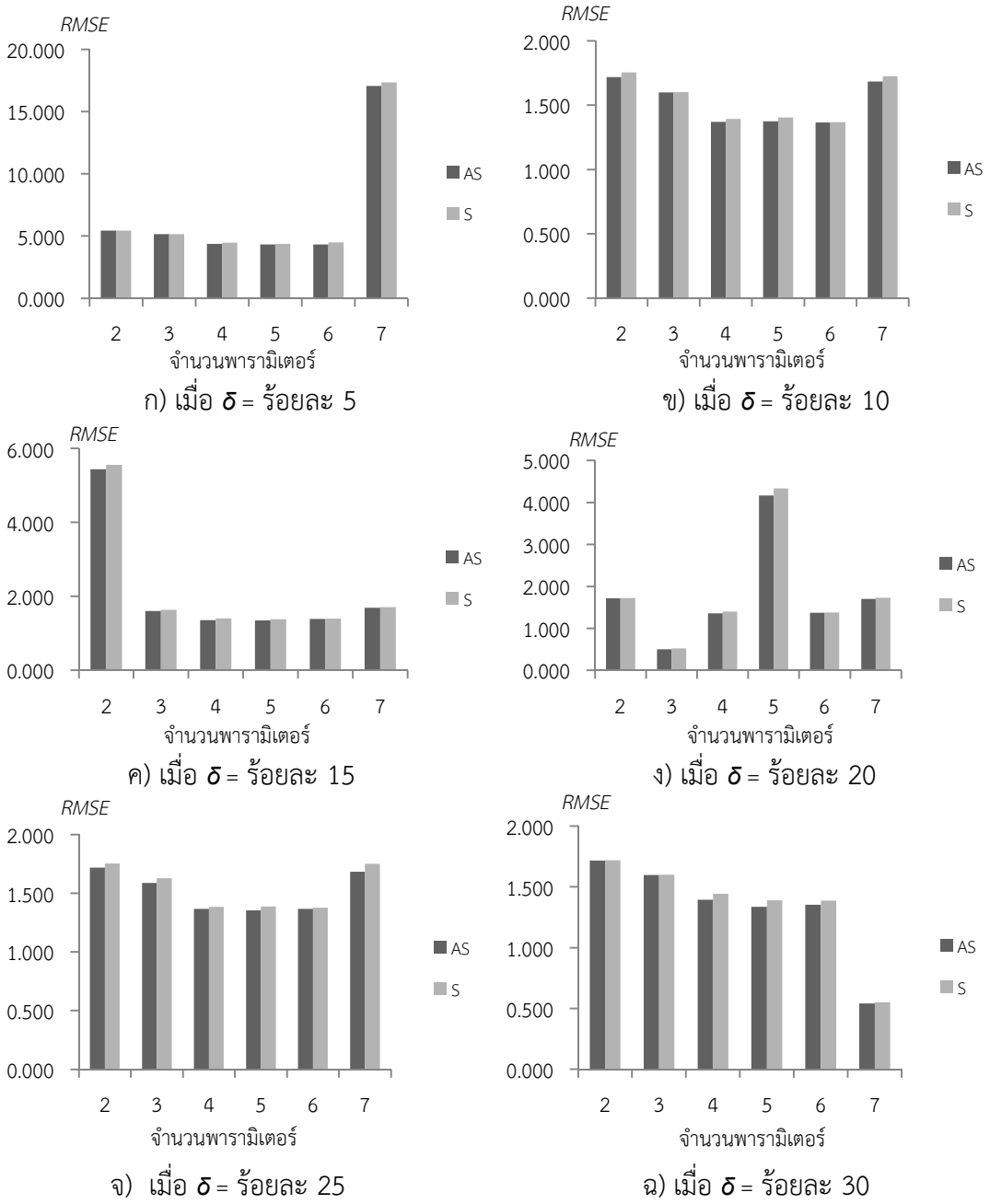
จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-12 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ทุกระดับและจำนวนพารามิเตอร์ทุกจำนวน ตามภาพ 4-20 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10

ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 15 ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 20

จ) เมื่อ δ = ร้อยละ 25 ฉ) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-13 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

ดังนั้นจากการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมาพบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้งหมด 127 สถานการณ์จาก 180 สถานการณ์ที่เป็นผล

ประกอบของขนาดตัวอย่าง (n) 5 เงื่อนไข ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ ($\boldsymbol{\delta}$) 6 เงื่อนไข และจำนวนพารามิเตอร์ (p) 6 เงื่อนไข ที่จำแนกตามตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

n	$\boldsymbol{\delta}$	p					
20	5	2	5	6			
	10	2	5	6			
	15	2	5	6			
	20	2	5	6			
	25	2	5	6	7		
	30	5	6	7			
40	5	4	5	6			
	10	4	5	6			
	15	4	5	6			
	20	4	5	6			
	25	4	5	6			
	30	4	5	6			
60	10	4	5	6			
	15	4	5	6			
	20	3	4	5	6		
	25	3	4	5	6		
	30	3	4	5	6		
100	5	3	4	5	6	7	
	10	2	3	4	5	6	7
	15	2	3	4	5	6	7
	20	2	3	4	5	6	7
	25	2	3	4	5	6	7
	30	2	3	4	5	6	7
200	5	2	3	4	5	6	7
	10	2	3	4	5	6	7
	15	2	3	4	5	6	7
	20	2	3	4	5	6	7
	25	2	3	4	5	6	7
	30	2	3	4	5	6	7

ทั้งนี้สามารถสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้ง 127 สถานการณ์ที่จำแนกตามขนาดตัวอย่าง ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ และจำนวนพารามิเตอร์ได้ตามตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การสรุปจำนวนสถานการณ์วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมา

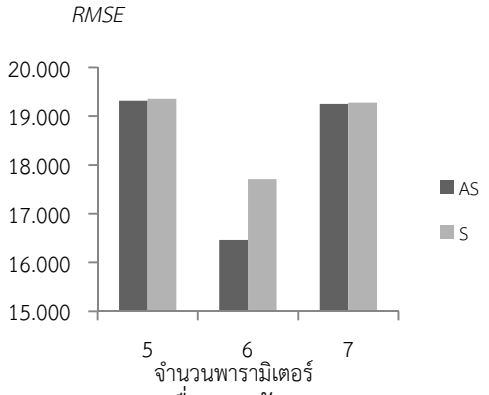
n	20	40	60	100	200	รวม
จำนวนสถานการณ์	19	18	19	35	36	127
δ	5	10	15	20	25	30	รวม
จำนวนสถานการณ์	17	22	22	22	23	22	127
p	2	3	4	5	6	7	รวม
จำนวนสถานการณ์	16	16	23	29	29	14	127

จากตารางที่ 4-4 พบว่า เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมาจะมีจำนวนสถานการณ์มากที่สุดที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และใกล้เคียงกับที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 แต่จำนวนจะลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างลดลง หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ถึง 30 มีจำนวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S และเมื่อพิจารณาจากจำนวนพารามิเตอร์พบว่า ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และ 6 จะมีสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากกว่าที่จำนวนพารามิเตอร์ค่าอื่น

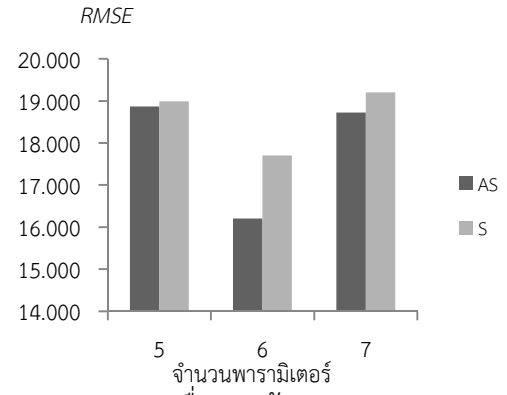
ผลการคำนวณค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S พบว่า มีค่าน้อยกว่าวิธี LS ทุกกรณี โดยค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้และวิธีตัวประมาณค่า S มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าทั้ง 3 วิธี เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล แสดงได้ตามภาคผนวกที่ ง-3 ซึ่งสามารถจำแนกตามขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

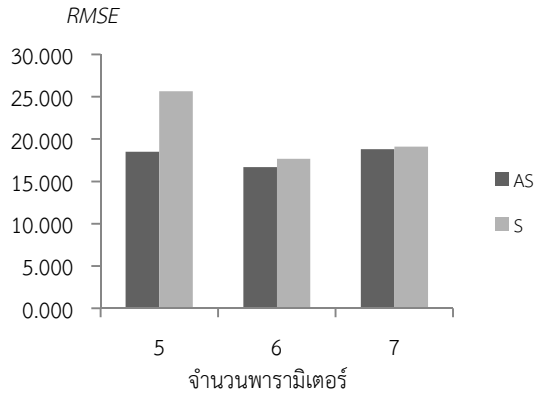
เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่ามากกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่พารามิเตอร์ทุกจำนวน แต่เมื่อเพิ่มค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 20 ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 5 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-14 ก) ถึง ค) ตามลำดับ



ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 10



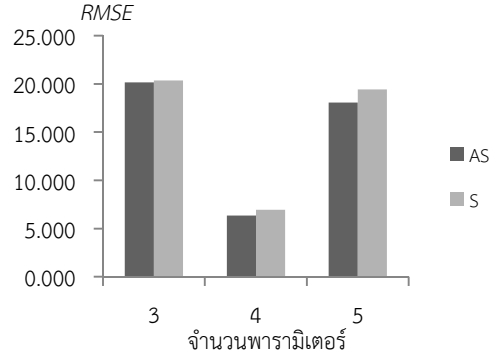
ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



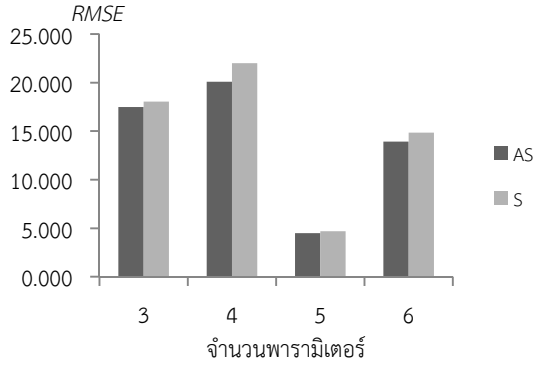
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 20

ภาพที่ 4-14 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และจำนวนพารามิเตอร์ 5 ถึง 7 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 5 และร้อยละ 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-15 ก) และ ข) ตามลำดับ



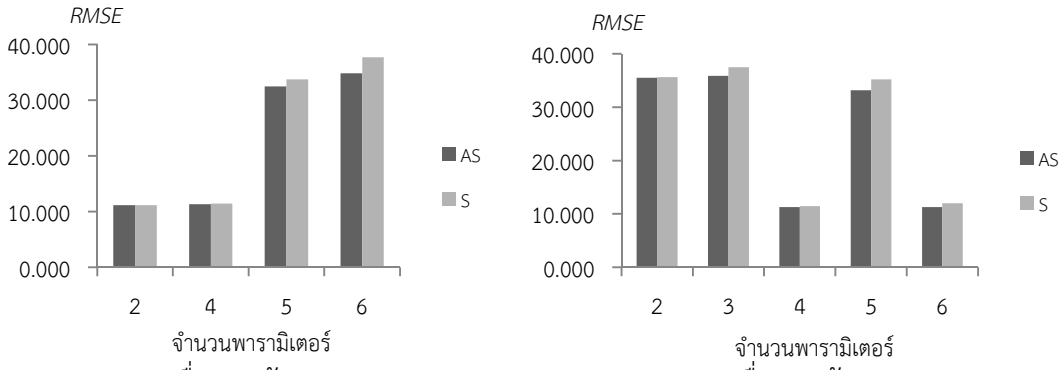
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

ภาพที่ 4-15 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

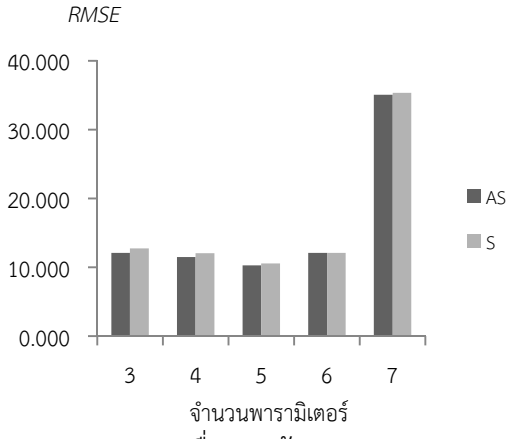
เมื่อมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 พบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์เป็น 2 และตั้งแต่ 4 ถึง 6 และร้อยละ 10 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-16 ก) และ ข) ตามลำดับ



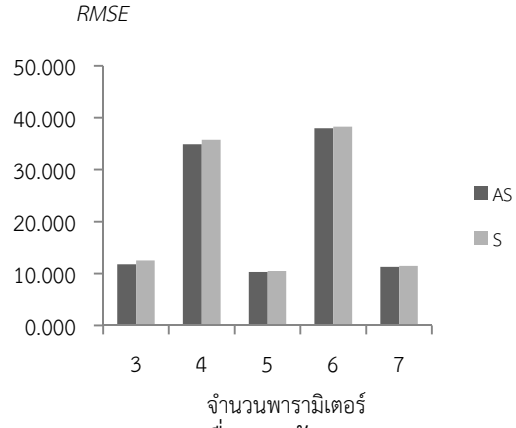
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 5 ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 10

ภาพที่ 4-16 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 และ 10 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

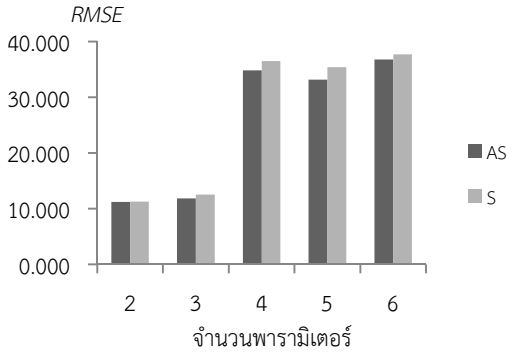
ทั้งนี้ยังพบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ตามภาพที่ 4-17 ก) และ ข) ที่จำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 ตามภาพที่ 4-17 ค) และร้อยละ 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-17 จ)



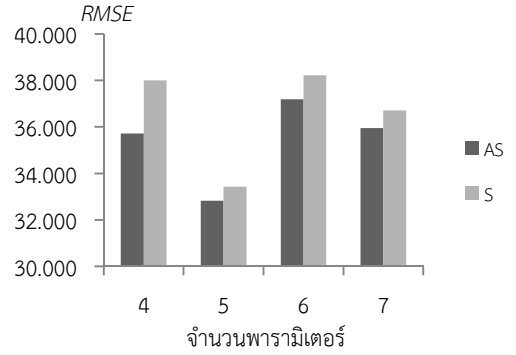
ก) เมื่อ δ = ร้อยละ 15



ข) เมื่อ δ = ร้อยละ 20



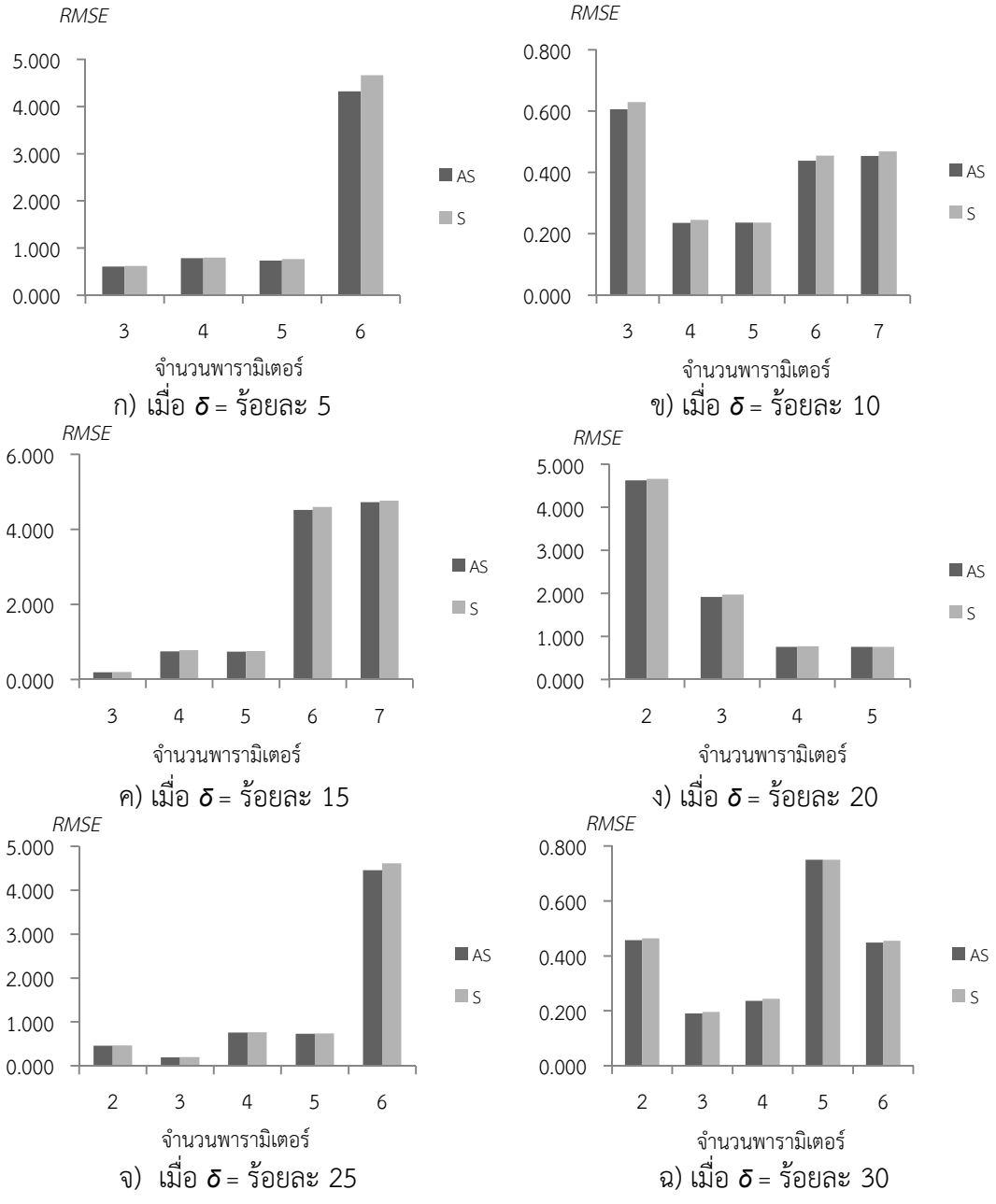
ค) เมื่อ δ = ร้อยละ 25



ง) เมื่อ δ = ร้อยละ 30

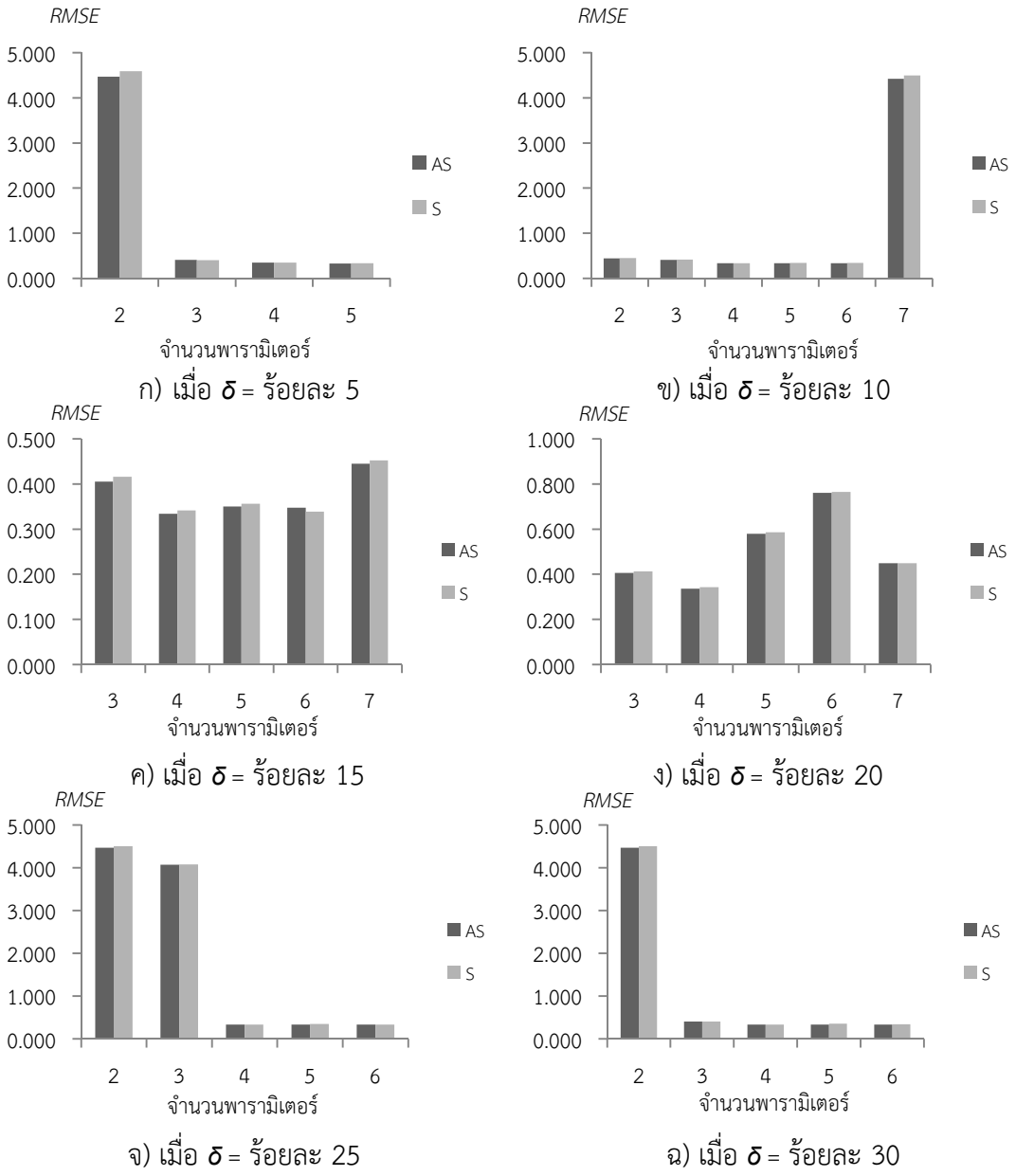
ภาพที่ 4-17 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 และค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 ถึง 30 ความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 พบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 6 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 และ 15 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 20 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 5 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-28 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



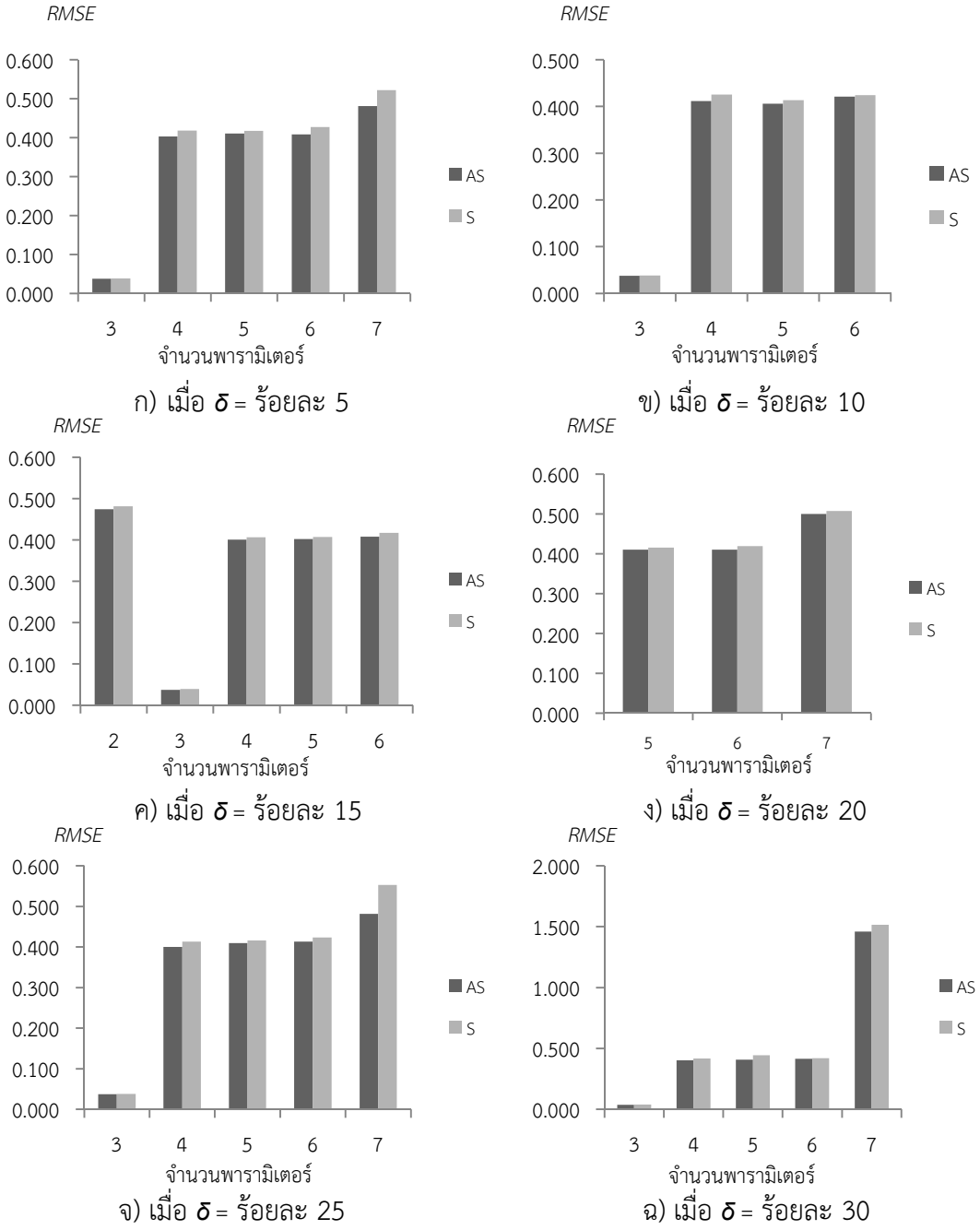
ภาพที่ 4-18 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 พบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 5 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 7 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 และ 20 มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 ตามภาพที่ 4-19 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-19 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 พบว่า ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าน้อยกว่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 15 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 ในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 20 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 5 ถึง 7 และในค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ตั้งแต่ 3 ถึง 7 ตามภาพที่ 4-20 ก) ถึง ฉ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-20 ค่า *RMSE* เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

ดังนั้นจากผลการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูลพบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้งหมด 129 สถานการณ์จาก 180 สถานการณ์ที่เป็นผลประกอบของขนาดตัวอย่าง (n) 5 เงื่อนไข ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ (δ) 6 เงื่อนไข และจำนวนพารามิเตอร์ (p) 6 เงื่อนไข ที่จำแนกตามตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

n	δ	*p*					
20	10	5	6	7			
	15	5	6	7			
	20	5	6	7			
	25	3	4	5			
	30	3	4	5	6		
40	5	2	4	5	6		
	10	2	3	4	5	6	
	15	3	4	5	6	7	
	20	2	3	4	5	6	
	25	2	3	4	5	6	
	30	4	5	6	7		
60	5	3	4	5	6		
	10	3	4	5	6	7	
	15	3	4	5	6	7	
	20	2	3	4	5		
	25	2	3	4	5	6	
	30	2	3	4	5	6	
100	5	2	3	4	5		
	10	2	3	4	5	6	7
	15	3	4	5	6	7	
	20	3	4	5	6	7	
	25	2	3	4	5	6	
	30	2	3	4	5	6	
200	5	3	4	5	6	7	
	10	3	4	5	6		
	15	2	3	4	5	6	
	20	5	6	7			
	25	3	4	5	6	7	
	30	3	4	5	6	7	

ทั้งนี้สามารถสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้ง 129 สถานการณ์ที่จำแนกตามขนาดตัวอย่าง ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ และจำนวนพารามิเตอร์ได้ตามตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 การสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูล

n	20	40	60	100	200	รวม
จำนวนสถานการณ์	16	28	28	30	27	129
δ	5	10	15	20	25	30	รวม
จำนวนสถานการณ์	17	23	23	20	23	23	129
p	2	3	4	5	6	7	รวม
จำนวนสถานการณ์	12	23	25	29	26	14	129

จากตารางที่ 4-6 พบว่า เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูลมีจำนวนสถานการณ์ที่มากที่สุดที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ส่วนที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200, 60 และ 40 พบว่า มีจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ถึง 30 มีจำนวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S และเมื่อพิจารณาจากจำนวนพารามิเตอร์พบว่า ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 3 ถึง 6 จะมีสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากกว่าที่จำนวนพารามิเตอร์ค่าอื่น

ทั้งนี้ผลการคำนวณหาค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S พบว่า มีค่าน้อยกว่าวิธี LS ทุกกรณี โดยค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้และวิธีตัวประมาณค่า S มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10

ดังนั้นจากการจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ ที่เป็นผลประกอบของ 4 เงื่อนไข ได้แก่ 1) ขนาดตัวอย่าง (*n*) 5 เงื่อนไข 2) ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ (**δ**) 6 เงื่อนไข 3) จำนวนจำนวนพารามิเตอร์ (*p*) 6 เงื่อนไข และ 4) การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน 3 เงื่อนไข พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้งสิ้น 397 สถานการณ์ แสดงตามตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 การจำแนกสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทุกการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน

ขนาดตัวอย่าง	การแจกแจง	วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้						รวม	วิธีตัวประมาณค่า S						รวม
		ร้อยละของค่านอกเกณฑ์							ร้อยละของค่านอกเกณฑ์						
		5	10	15	20	25	30		5	10	15	20	25	30	
20	ปรกติ	-	1 (7)	1 (7)	3 (5 ถึง 7)	4 (4 ถึง 7)	4 (4 ถึง 7)	13	6 (2 ถึง 7)	5 (2 ถึง 6)	5 (2 ถึง 6)	3 (2 ถึง 4)	2 (2,3)	2 (2,3)	23
	แกมมา	3 (2,5,6)	3 (2,5,6)	3 (2,5,6)	3 (2,5,6)	4 (2,5,6,7)	3 (5,6,7)	19	3 (3,4,7)	3 (3,4,7)	3 (3,4,7)	3 (3,4,7)	2 (3,4)	3 (2,3,4)	17
	ไวบูล	-	3 (5,6,7)	3 (5,6,7)	3 (5,6,7)	3 (3,4,5)	4 (3 ถึง 6)	16	6 (2 ถึง 7)	3 (2,3,4)	3 (2,3,4)	3 (2,3,4)	3 (2,6,7)	2 (2,7)	20
40	ปรกติ	4 (4 ถึง 7)	4 (4 ถึง 7)	4 (4 ถึง 7)	4 (4 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	26	2 (2,3)	2 (2,3)	2 (2,3)	2 (2,3)	1 (2)	1 (2)	10
	แกมมา	3 (4,5,6)	3 (4,5,6)	3 (4,5,6)	3 (4,5,6)	3 (4,5,6)	3 (4,5,6)	18	3 (2,3,7)	3 (2,3,7)	3 (2,3,7)	3 (2,3,7)	3 (2,3,7)	3 (2,3,7)	18
	ไวบูล	4 (2,4,5,6)	5 (2 ถึง 6)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (2 ถึง 6)	4 (4 ถึง 7)	28	2 (3,7)	1 (7)	1 (2)	1 (2)	1 (7)	2 (2,3)	8
60	ปรกติ	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	30	1 (2)	1 (2)	1 (2)	1 (2)	1 (2)	1 (2)	6
	แกมมา	-	3 (4,5,6)	4 (3 ถึง 6)	4 (3 ถึง 6)	4 (3 ถึง 6)	4 (3 ถึง 6)	19	6 (2 ถึง 7)	3 (2,3,7)	2 (2,7)	2 (2,7)	2 (2,7)	2 (2,7)	17
	ไวบูล	4 (3 ถึง 6)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	4 (2 ถึง 5)	5 (2 ถึง 6)	5 (2 ถึง 6)	28	2 (2,7)	1 (2)	1 (2)	2 (6,7)	1 (7)	1 (7)	8

ตารางที่ 4-7 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	การแจกแจง	วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 5	10	15	20	25	30	รวม	วิธีตัวประมาณค่า S ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 5	10	15	20	25	30	รวม
100	ปรกติ	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	36	-	-	-	-	-	-	0
	แกมมา	5 (3 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	35	1 (2)	-	-	-	-	-	1
	ไวบูล	4 (2 ถึง 5)	6 (2 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	5 (2 ถึง 6)	5 (2 ถึง 6)	30	2 (6,7)	-	1 (2)	1 (2)	1 (7)	1 (7)	6
200	ปรกติ	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	36	-	-	-	-	-	-	0
	แกมมา	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	6 (2 ถึง 7)	36	-	-	-	-	-	-	0
	ไวบูล	5 (3 ถึง 7)	4 (3 ถึง 6)	5 (2 ถึง 6)	3 (5,6,7)	5 (3 ถึง 7)	5 (3 ถึง 7)	27	1 (2)	2 (2,7)	1 (7)	3 (2,3,4)	1 (2)	1 (2)	9
					รวมทุกสถานการณ์			397				รวมทุกสถานการณ์			143

<u>หมายเหตุ</u> ค่าในวงเล็บหมายถึงจำนวนพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย

จากตารางที่ 4-7 พบว่า มีจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทั้งสิ้น 397 สถานการณ์ และมีจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ทั้งสิ้น 143 สถานการณ์ ซึ่งสามารถสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทุกการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 การสรุปจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ทุกการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน

n	20	40	60	100	200	รวม
ปรกติ	13	26	30	36	36	141
แกมมา	19	18	19	35	36	127
ไวบูล	16	28	28	30	27	129
รวม	48	72	76	101	99	397
δ	5	10	15	20	25	30	รวม
ปรกติ	21	22	22	24	26	26	141
แกมมา	17	21	22	22	23	22	127
ไวบูล	17	23	23	20	23	23	129
รวม	55	66	67	66	72	71	397
p	2	3	4	5	6	7	รวม
ปรกติ	12	20	26	27	27	29	141
แกมมา	16	16	23	29	29	14	127
ไวบูล	12	23	25	29	26	14	129
รวม	40	59	74	85	82	57	397

ดังนั้นจากตารางที่ 4-8 พบว่า จากสถานการณ์ทั้งหมด 540 สถานการณ์มี 397 สถานการณ์ที่ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่เป็นไปตามสมมุติฐานข้อที่ 1 โดยพบว่า ส่วนใหญ่เป็นสถานการณ์ที่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และพบว่า มี 143 สถานการณ์ที่ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานข้อที่ 1 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสถานการณ์ที่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2

ตอนที่ 3 ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ เริ่มจากการศึกษาลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของค่าสังเกต หรือข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ แบ่งเป็น ผลการคำนวณค่าสถิติพื้นฐาน ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการทดสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอย ผลการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ และผลการตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

1. ผลการคำนวณค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนายทีละตัว แสดงตามตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-21 ตามลำดับ

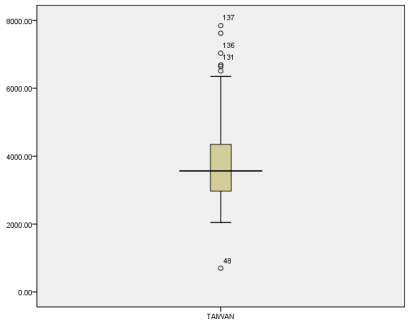
ตารางที่ 4-9 ลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของเงินรายได้นำเข้าประเทศ และจำนวนแรงงานไทยประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

ข้อมูลแรงงานไทย	ลักษณะข้อมูลเบื้องต้น								ค่า Sig.	
	Min	*Max*	*Mean*	*Median*	*Mode*	*SD*	Skewness	Kurtosis	K-S	S-W
จำนวนแรงงานไทย (คน)										
ไต้หวัน	699.00	7,845.00	3,796.45	3,565.50	2,821.00	1,174.32	0.98	1.20	< .05	< .05
สิงคโปร์	276.00	1,973.00	970.26	940.50	1,054.00	355.74	0.37	-0.31	< .05	< .05
มาเลเซีย	155.00	2,559.00	327.03	289.00	289.00	212.66	7.95	79.71	< .05	< .05
ญี่ปุ่น	307.00	3,463.00	612.97	570.00	544.00	289.06	6.92	63.54	< .05	< .05
อิสราเอล	27.00	2,115.00	685.84	675.00	479.00	417.02	0.90	1.361	< .05	< .05
อื่นๆ	3,120.00	12,223.00	5,323.33	5,036.50	5,936.00	1,672.40	1.44	2.82	< .05	< .05
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	3,570.00	11,221.00	7,374.36	8,165.50	8,006.00	2,266.46	-0.37	-1.46	< .05	< .05

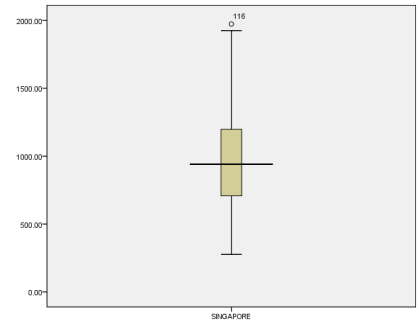
จากตารางที่ 4-9 ที่แสดงจำนวนแรงงานไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 พบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวันมีค่าอยู่ระหว่าง 699 คน ถึง 7,845 คน ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3,796.45 คน ค่ามัธยฐานเท่ากับ 3,565 คน โดยมีความเบ้เท่ากับ 0.98 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อย และมีความโด่งเท่ากับ 1.20 จำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ มีค่าอยู่ระหว่าง 276 คน ถึง 1,973 คน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 970.27 คน ที่มีค่าแตกต่างจากค่ามัธยฐานเล็กน้อย มีความเบ้เท่ากับ 0.365 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวา และมีความโด่งเท่ากับ -0.314 จำนวนแรงงานไทยในประเทศมาเลเซียมีค่าอยู่ระหว่าง 155 คน ถึง 2,559 คน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 327.03 คน มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 289 มีความเบ้เท่ากับ 7.948 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาค่อนข้างมาก และมีความโด่งเท่ากับ 79.71 จำนวนแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น มีค่าอยู่ระหว่าง 307 คน ถึง 3,463 คน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 612.97 คน ที่แตกต่างจากค่ามัธยฐานเล็กน้อย มีความเบ้เท่ากับ 6.92 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาค่อนข้างมาก และมีความโด่งเท่ากับ 63.54 จำนวนแรงงานไทยในประเทศอิสราเอล มีค่าอยู่ระหว่าง 27 คนถึง 2,115 คน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 685.84 คน ที่แตกต่างจากค่ามัธยฐานเล็กน้อย มีความเบ้เท่ากับ 0.91 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อย และมีความโด่งเท่ากับ 1.36 ส่วนจำนวนแรงงานไทยในประเทศอื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 3,120 คน ถึง 12,223 คน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,323.33 คน ค่ามัธยฐานเท่ากับ 5,036.50 คน มีความเบ้เท่ากับ 1.43 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อย และมีความโด่งเท่ากับ 2.82

สำหรับลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของรายได้นำเข้าประเทศ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 3,570 ล้านบาท ถึง 11,221 ล้านบาท ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7,374.26 ล้านบาท มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 8,165.50 ล้านบาท โดยมีความเบ้เท่ากับ -0.37 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวา และมีความโด่งเท่ากับ -1.46

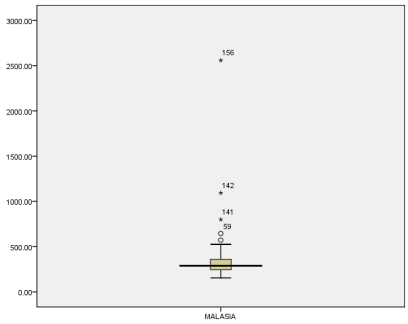
เมื่อพิจารณาการแจกแจงปรกติของตัวแปรทุกตัว จากค่าสถิติทดสอบของ Komogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk พบว่า ตัวแปรทุกตัวไม่ได้แจกแจงปรกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (Sig. < .05) ทั้งนี้เมื่อพิจาราณาจากแผนภาพกล่องตามภาพที่ 4-21 พบว่า มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับตัวแปรทุกตัว ยกเว้นตัวแปรรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ



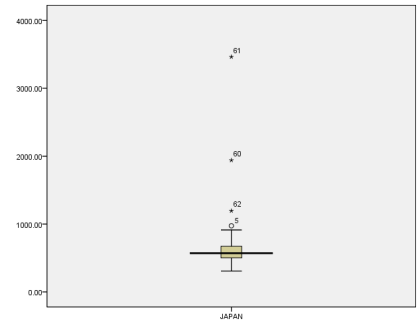
ก) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในไต้หวัน



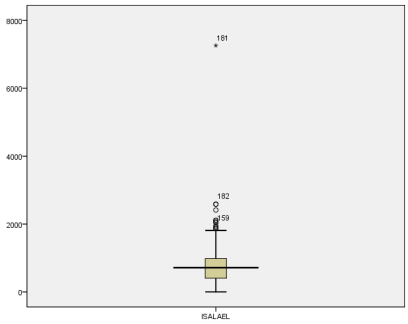
ข) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในสิงคโปร์



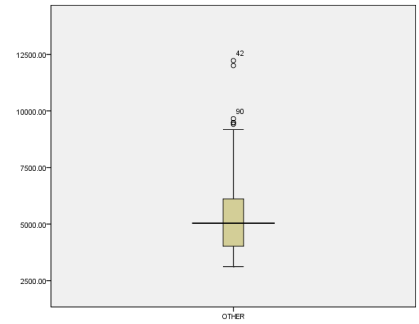
ค) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในมาเลเซีย



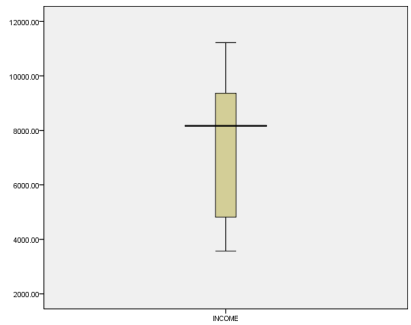
ง) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในญี่ปุ่น



จ) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในอิสราเอล



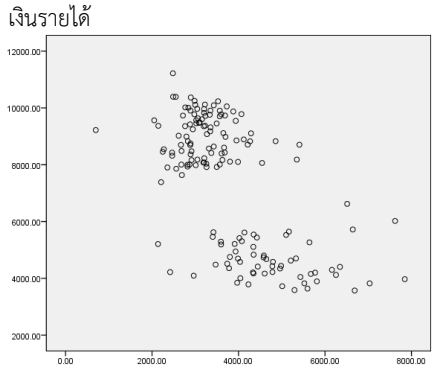
ฉ) แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานในประเทศอื่น ๆ



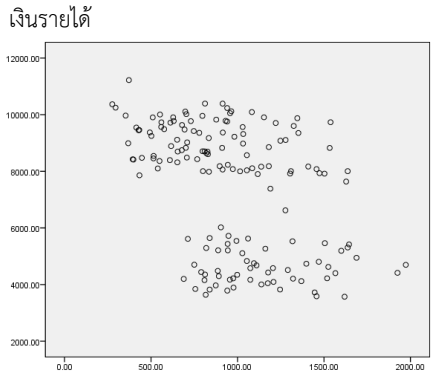
ช) แผนภาพกล่องของรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย

ภาพที่ 4-21 แผนภาพกล่องของจำนวนแรงงานไทย และรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ

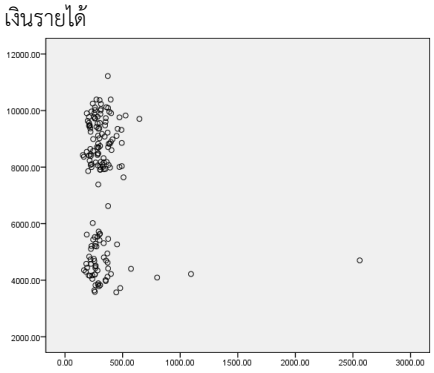
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์และตัวแปรทำนาย หรือระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ทั้ง 6 ตัวแปร จากแผนภาพการกระจายแสดงได้ตามภาพที่ 4-22



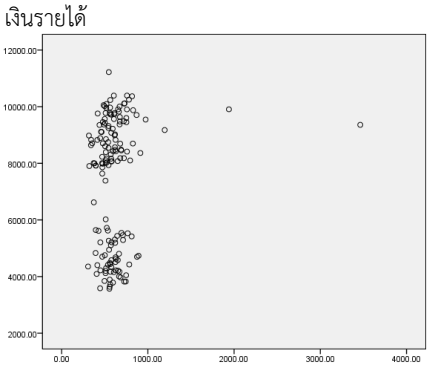
ก) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในไต้หวัน



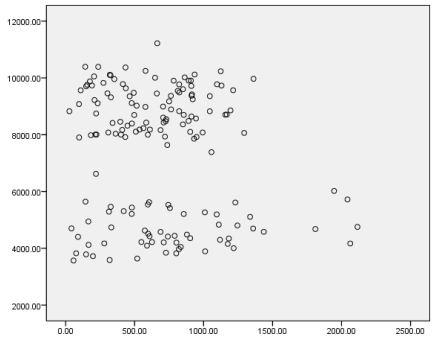
ข) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในสิงคโปร์



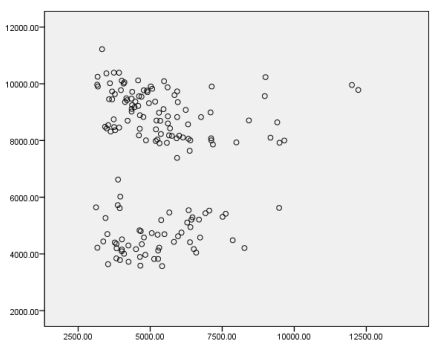
ค) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในมาเลเซีย



ง) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในญี่ปุ่น



จ) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในอิสราเอล



ฉ) เงินรายได้กับจำนวนคนงานในประเทศอื่น ๆ

ภาพที่ 4-22 แผนภาพการกระจายระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยกับจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ

จากภาพที่ 4-22 พบลักษณะการกระจายของจุดเกิดขึ้นน้อยระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในประเทศมาเลเซีย และประเทศญี่ปุ่น ในขณะที่การกระจายของจุดเกิดขึ้นมากระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ ทั้งนี้สามารถแสดงทิศทางความสัมพันธ์ และระดับความสัมพันธ์ได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) ตามตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในทุกประเทศ

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน						
	TAIWAN	SINGAPORE	MALASIA	JAPAN	ISALAEL	OTHER	INCOME
TAIWAN	1.00	0.283**	0.076**	-0.07	0.19*	-0.03**	-0.63**
SINGAPORE		1.00	0.15	-0.07	-0.10	-0.29**	-0.45**
MALASIA			1.00	-0.07	-2.43	-0.10	-0.09
JAPAN				1.00	0.08	-0.10	0.12
ISALAEL					1.00	0.03	-0.15
OTHER						1.00	0.07
INCOME							1.00

หมายเหตุ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4-10 พบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และสิงคโปร์เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยจำนวนแรงงานไทยในไต้หวันมีความสัมพันธ์กับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศมากกว่าที่มีค่า r = -0.63 ซึ่งทั้งจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์มีทิศทางความสัมพันธ์แบบสวนทางกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศทั้งคู่

หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายทั้ง 6 ตัว พบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย และประเทศอื่น ๆ มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 เช่นเดียวกับประเทศสิงคโปร์ และประเทศอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรทำนายหรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ

2. ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ภายใต้ตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณแสดงได้ดังนี้

$$\underline{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \ldots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

เมื่อ $\underline{Y}_i$ แทน เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ (ล้านบาท)

x_{ji} แทน จำนวนแรงงานไทย (คน)

β_0 แทน ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแทนระยะตัดแกน y ของข้อมูลในประชากร

β_j แทน ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ε_i แทน ค่าความคลาดเคลื่อน

i แทน ค่าสังเกตมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

j แทน ประเทศต่าง ๆ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 6 ประกอบด้วยไต้หวัน ประเทศสิงคโปร์ ประเทศมาเลเซีย ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ ตามลำดับ

2.2.1 การทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ค่าสถิติทดสอบ t เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ กับจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ภายใต้สมมุติฐาน

$$H_0 : \beta_j = 0$$
$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติทดสอบ t ของข้อมูล

ข้อมูลแรงงานไทย	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ t	ค่า p
ค่าคงที่	12541.21	783.66	16.00	<.05
จำนวนแรงงานไทยในประเทศ				
ไต้หวัน	-0.99	0.12	-8.09	<.05
สิงคโปร์	-2.10	0.42	-5.05	<.05
มาเลเซีย	-0.14	0.65	-0.21	.87
ญี่ปุ่น	0.60	0.46	1.30	.20
อิสราเอล	-0.53	0.34	-1.56	.12
อื่นๆ	0.12	0.08	1.47	.14

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ค่า p (p-value) ของตัวแปรจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ มีค่าน้อยกว่า .05 แสดงว่า ตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเงินรายได้นำเข้า

ประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ส่วนตัวแปรจำนวนแรงงานไทยในประเทศญี่ปุ่น ประเทศมาเลเซีย ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ มีค่า *p* มากกว่า .05 แสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 จึงพิจารณาตัดตัวแปรเหล่านี้ออกจากตัวแบบ ทำให้เหลือตัวแปรทำนาย 2 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้ใหม่นี้ โดยใช้สถิติทดสอบ *t* ตามตารางที่ 4-12 จะพบว่า ค่า *p* ของตัวแปรจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ มีค่าน้อยกว่า .05 แสดงว่า ตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบค่า Tolerance และ *VIF* อยู่ภายใต้เกณฑ์ จึงไม่เกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ

ตารางที่ 4-12 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ

ข้อมูลแรงงานไทย	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ *t*	ค่า *p*	Tolerance	*VIF*
ค่าคงที่	13204.41	512.86	25.74	<.05		
ไต้หวัน (TAIWAN)	-1.06	0.12	-9.04	<.05	0.92	1.08
สิงคโปร์ (SINGAPORE)	-1.85	0.39	-4.77	<.05	0.92	1.08

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์กับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ตามตารางที่ 4-13 แสดงให้เห็นว่า เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศมีความสัมพันธ์กับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_k = 0$$

H_1 : มี β_j อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยทุกประเทศ

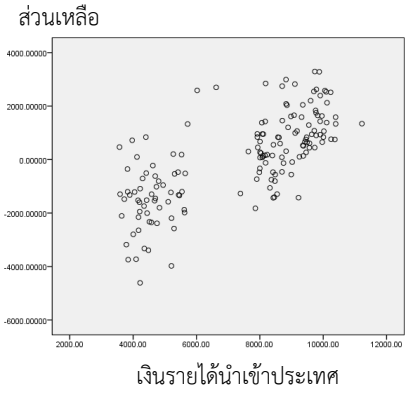
	SS	*df*	*MS*	*F*	ค่า *p*
การถดถอย	$3.80x10^8$	2	$1.90x10^8$	70.11	<.05
ส่วนเหลือ	$4.16x10^8$	153	2715489.03		
ผลรวม	$7.96x10^9$	155			

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยตามตารางที่ 4-12 แสดงว่า ในไต้หวันและประเทศสิงคโปร์มีความสัมพันธ์กับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งจำนวนแรงงานนี้ มีอิทธิพลต่อเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ 47.1% เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่ถูกปรับค่าตามตารางที่ 4-14

3.ผลการทดสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอย

3.1 ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือในตารางภาคผนวก จ-1 มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงว่า ค่า ε_i สำหรับทุกค่า *i* เป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 หรือ $E(\varepsilon_i)= 0$

3.2 ผลการทดสอบความคงที่ของค่าความแปรปรวนของ ε_i สำหรับทุกค่า *i* ที่มีค่าเท่ากับ σ_i^2 แสดงได้จากกราฟระหว่างส่วนเหลือกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศตามภาพที่ 4-23 โดยจะพบว่า การกระจายของส่วนเหลือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่า σ_i^2 มีค่าไม่คงที่



ภาพที่ 4-23 กราฟระหว่างส่วนเหลือกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

3.3 ผลการทดสอบความเป็นอิสระกันหรือไม่เกิดสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation) ของค่า ε_i สำหรับทุกค่า *i* จากค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson ตามตารางที่ 4-13 ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

H_0 : ค่า ε_i แต่ละค่าไม่มีสหสัมพันธ์ในตัว

H_1 : ค่า ε_i แต่ละค่ามีสหสัมพันธ์ในตัว

ตารางที่ 4-14 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่ปรับค่าและค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่ถูกปรับค่า	ค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson
0.69	0.471	0.471	0.69

จากค่าสถิติทดสอบของ Durbin – Watson แสดงได้ว่าε_i แต่ละค่าไม่เป็นอิสระกันหรือเกิดสหสัมพันธ์ในตัวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3.4 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่า ε_i

ผลจากสถิติทดสอบของ Kolmogorov-Smirnov ตามตารางที่ 4-15 พบว่า ค่า ε_i ไม่ได้แจกแจงปรกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่จากการทดสอบการแจกแจงแบบไวบูลพบว่า ค่า ε_i มีการแจกแจงแบบไวบูลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

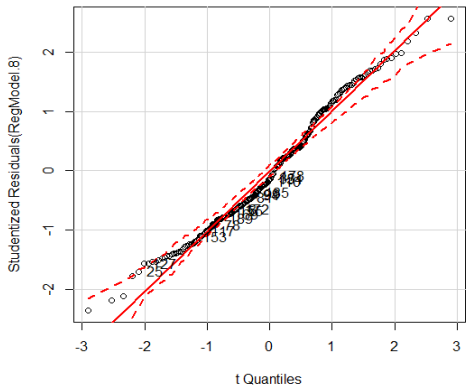
ตารางที่ 4-15 การทดสอบการแจกแจงของส่วนเหลือ

	K-S			การทดสอบการแจกแจงไวบูล	
	ค่าสถิติ	*df*	ค่า *p*	ค่าสถิติ	ค่า *p*
ส่วนเหลือ	0.075	156	.03	.344	.410

ดังนั้นจากผลการทดสอบจึงกล่าวได้ว่า ค่า ε_i ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอย จึงต้องตรวจสอบว่ามีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นหรือไม่

4. ผลการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์

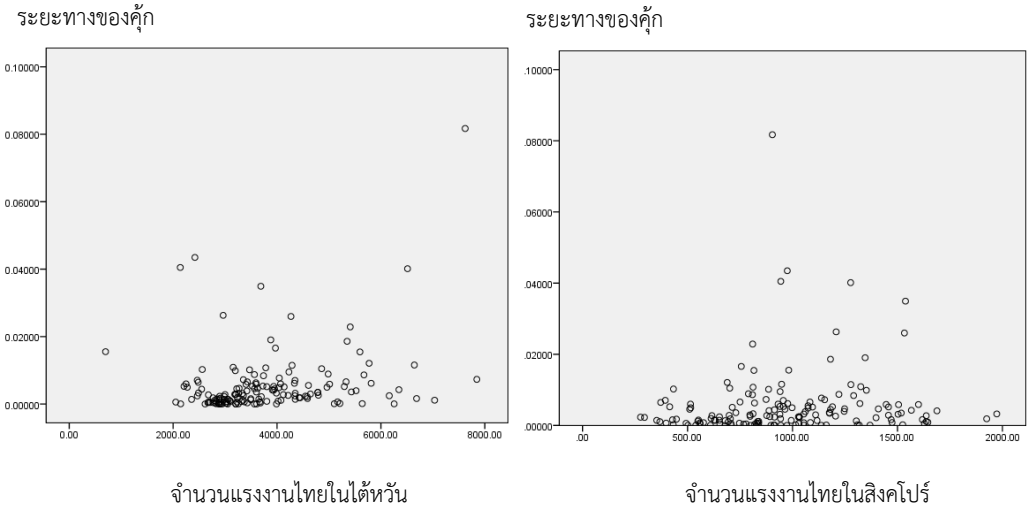
4.1 การตรวจสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ จากกราฟแบบ Q-Q Plot theoretical ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ตามภาพที่ 4-24 พบว่า มีจุดบางจุดที่อยู่นอกเส้น แสดงว่าเกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้นกับค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์



ภาพที่ 4-24 กราฟแบบ Q-Q Plot Theoretical ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

4.2 การตรวจสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ จากระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) ตามภาคผนวก ฉ-1 ที่แสดงผลการเปรียบเทียบค่า *p* ของระยะทางมหาลาโนบิสจากค่าสังเกตทุกค่าพบว่า หากค่า *p* จากค่าสังเกตใดน้อยกว่า .05 แสดงว่า ค่าสังเกตนั้นเป็นค่านอกเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.3 การตรวจสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ จากระยะทางของคุ้ก (Cook's Distance) ตามภาคผนวก ฉ-1 และจากภาพที่ 4-25 ที่พบจุดกระจายห่างออกไปจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่

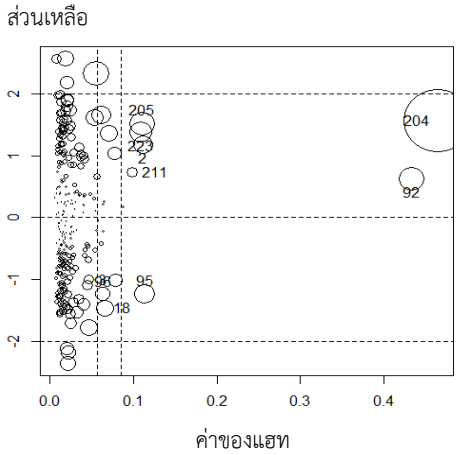


ภาพที่ 4-25 แผนภาพการกระจายของจำนวนแรงงานไทยในไต้หวันและสิงคโปร์กับระยะทางของคุ้ก

4.4 การตรวจสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ จากค่า Leverage ตามตาราง ภาคผนวก ฉ-1 ซึ่งจะพบจุดที่เป็นค่านอกเกณฑ์

5. ผลการตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

5.1 การตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากกราฟระหว่างค่าเมทริกซ์แฮทกับค่า Studentized Residual ตามภาพที่ 4-26 ที่พบวงกลมขนาดใหญ่ของค่านอกเกณฑ์ ที่แสดงถึงขนาดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ผิดปกติซึ่งมีผลต่อค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย



ภาพที่ 4-26 ขนาดอิทธิพลของค่าสังเกตที่ผิดปกติ

5.2 การตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากค่าสถิติ Difference in the fitted value-standardized หรือ $DFFITS_i$ พบว่า $|DFFITS|_i > 2\sqrt{p/n}$ และจากผลการเปรียบเทียบระยะทางของคุ้กซ์กับค่า $F_{(p,\,n-p)}$ เมื่อ p แทนจำนวนพารามิเตอร์ และ n แทนค่าสังเกตทั้งหมด ตามตารางภาคผนวก ฉ-1 พบว่า ค่านอกเกณฑ์ทุกค่ามีอิทธิพลต่อสมการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 จึงไม่ได้ตัดค่านอกเกณฑ์ออกจากระบบ

ดังนั้นจากผลการศึกษาลักษณะข้อมูลเบื้องต้นสรุปได้ว่า เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ในขณะที่จำนวนแรงงานไทยในประเทศอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้น สำหรับผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความคลาดเคลื่อนพบว่า ความคลาดเคลื่อนไม่ได้แจกแจงปรกติ โดยมีความแปรปรวนไม่คงที่ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และเกิดสหสัมพันธ์ในตัวของความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยสาเหตุที่ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไข เนื่องจากอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ (Yarmohammadi & Mahmoudvand, 2010; กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552, หน้า. 392) ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบค่านอกเกณฑ์จากค่าสังเกตของตัวแปรทำนายทั้งสองพบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวันและจำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นร้อยละ 5.13

เมื่อทดสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์ พบว่า ค่านอกเกณฑ์ทุกค่ามีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 จึงไม่ได้ตัดค่านอกเกณฑ์นี้ออกจากระบบ และใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่แกร่งมาเป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยต่อไป

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 พบลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของตัวแปรทั้ง 3 นี้แสดงตามตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศกับจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์

	ลักษณะข้อมูลเบื้องต้น					
แรงงานไทย (คน)	*Min*	*Max*	*Mean*	*Median*	*Mode*	*SD*
ไต้หวัน	699.00	7,845.00	3,796.45	3,565.50	3,204.00	1,174.32
สิงคโปร์	276.00	1,973.00	970.26	940.50	1,054.00	355.74
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	3,570.00	11,221.00	7,374.35	8,165.50	8,078.00	2,266.46

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุคูณตามตารางที่ 4.12 ตามที่กล่าวมาแล้วพบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประทศสิงคโปร์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และไม่เกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ โดยจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ มีอิทธิพลต่อเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศร้อยละ 47.1 ตามค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่ถูกปรับค่า ดังแสดงตามตารางที่ 4-14

ผลการทดสอบเงื่อนไขเบื้องต้นพบว่า มีบางข้อไม่เป็นไปตามเงื่อนไขตามที่ได้กล่าวไปแล้ว ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนไม่ได้แจกแจงปรกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และพบว่าเกิดสหสัมพันธ์ในตัวของความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ผลการตรวจสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ จากกราฟแบบ Q-Q Plot theoretical ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ตามภาพที่ 4-25 พบว่า มีจุดบางจุดที่อยู่นอกเส้นแสดงว่า เกิดค่านอกเกณฑ์ขึ้นกับค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบจากระยะทางมหาลาโนบิส ตามภาคผนวก ฉ-1 พบว่า มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบจากระยะทางของคุ้ก และค่า Leverage ตามภาคผนวก ฉ-1

เมื่อตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากกราฟระหว่างค่าเมทริกซ์แฮทกับค่า Studentized Residual ตามภาพที่ 4-27 พบว่า ค่าสังเกตที่ผิดปกตินี้มีอิทธิพลต่อสมการถดถอยมาก โดยเมื่อตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์จากค่าสถิติ *DFFITS* ตามภาคผนวก ฉ-1 พบว่า ค่านอก

เกณฑ์ทุกค่ามีอิทธิพลต่อสมการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 จึงไม่ได้ตัดค่านอกเกณฑ์ออกจากการวิเคราะห์

ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้โดยคำนวณค่า *DMST* ได้เท่ากับ 138.569708 ที่แสดงผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้จากภาคผนวก ช-1 และผลการคำนวณ $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ จากค่า Q^{DMST} ในแต่ละรอบจากภาคผนวก ช-2 ด้วยวิธี IRLS จึงได้สมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ดังนี้

$$\underline{\hat{Y}}_i = 13376.38438 - 1.08517x_{1i} - 1.88325x_{2i}$$

เมื่อ x_{1i} แทนจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน, x_{2i} แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ และ $\underline{\hat{Y}}_i$ แทนเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

ทั้งนี้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S โดยคำนวณค่า *MAD* ได้เท่ากับ 1,196.441856 ที่แสดงผลการคำนวณได้จากภาคผนวก ช-1 และเมื่อคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละรอบจากภาคผนวก ช-2 ได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S และสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ดังนี้

$$\underline{\hat{Y}}_i = 13826.94623 - 1.129383x_{1i} - 1.84362x_{2i}$$

จากสมการถดถอย หรือสมการพยากรณ์ที่ได้พบว่า จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์มีทิศทางความสัมพันธ์สวนทางกับเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ที่เป็นไปตามลักษณะการกระจายตามแผนภาพที่ 4.22 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันตามตารางที่ 4-10 ที่แปลความหมายได้ว่า หากมีจำนวนแรงงานในไต้หวันและประเทศสิงคโปร์เพิ่มขึ้น 1 คนจะมีผลทำให้เงินนำเข้าประเทศลดลง -1.08517 และ -1.88325 ล้านบาท ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากค่า *RMSE* พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* เท่ากับ 1,627.97415 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีค่าเท่ากับ 1,671.17333 แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งผลการคำนวณแสดงตามภาคผนวกที่ ช-3

สำหรับค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีค่าเท่ากับร้อยละ 21.45760 ที่น้อยกว่าค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 22.58404 แสดงว่า สมการพยากรณ์

หรือสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ให้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยจากการพยากรณ์น้อยกว่า สมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งผลการคำนวณแสดงตามภาคผนวกที่ ช-3

ทั้งนี้เมื่อพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 จากสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ แสดงได้ตามตารางที่ 4-17 โดยมีค่า *MAPE* เท่ากับร้อยละ 12.042 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.187 แต่เนื่องจากทั้ง 2 วิธีให้ค่า *MAPE* มากกว่าร้อยละ 10 จึงไม่เป็นไปตามสมมุติฐานข้อที่ 2

ตารางที่ 4-17 ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศปี พ.ศ. 2560

เดือน	จำนวนแรงงานไทย (คน)		เงินรายได้นำเข้าประเทศ (ล้านบาท)	ค่าประมาณของเงินรายได้นำเข้าประเทศ (ล้านบาท)	
	ไต้หวัน	สิงคโปร์		AS	S
มกราคม	2,650	459	10,427	9,636.28	9,987.90
กุมภาพันธ์	3,060	344	9,972	9,407.94	9,736.83
มีนาคม	2,945	333	10,384	9,553.45	9,886.99
เมษายน	3,242	587	10,732	8,752.81	9,083.28
พฤษภาคม	3,415	672	9,814	8,404.99	8,731.19
มิถุนายน	2,803	394	10,929	9,592.66	9,934.90
กรกฎาคม	2,839	611	11,456	9,879.67	9,494.18
สิงหาคม	2,824	676	10,950	9,144.93	9,391.28
MAPE				ร้อยละ 12.042	ร้อยละ 20.187

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ จากนั้นจึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้การจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ที่เป็นผลประกอบของ 4 เงื่อนไข คือ 1) ขนาดตัวอย่าง 2) ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 3) จำนวนพารามิเตอร์ และ 4) การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน โดยใช้รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมาเป็นเกณฑ์ และพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ โดยใช้ค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มาเป็นเกณฑ์การสร้างสมการพยากรณ์

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาวิธีประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ด้วยการปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า S โดยการนำค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นที่แสดงได้ดังนี้

$$DMST = med\left\{\left|r_i^* - r_j^*\right|\right\}$$

เมื่อ *med* คือค่ามัธยฐานของผลต่างระหว่างส่วนเหลือที่ i หรือ r_i^* และส่วนเหลือที่ j หรือ r_j^* ที่เลือกมาจากระยะทางแบบยุคลิด และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม

ทั้งนี้ค่า *DMST* เป็นค่าสถิติที่มีสมบัติคล้ายกับค่า *MAD* คือมีจุดเปลี่ยนข้อมูล 50% และมีสมบัติ Affine Equivariance

ค่า *DMST* ได้นำมาใช้สำหรับคำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือแทนที่ค่า *MAD* จากวิธีตัวประมาณค่า S ทำให้ได้ค่าน้ำหนักใหม่แทนด้วย Q^{DMST} ที่นำมาใช้สำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธี IRLS จึงได้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ ดังนี้

$$\underline{\hat{\beta}}_{DMST} = (\underline{X}^{'}Q^{DMST}\underline{X})^{-1}(\underline{X}^{'}Q^{DMST}\underline{Y})$$

$\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า Sปรับแก้

$\underline{X}$ คือ เมทริกซ์ค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{X}^{'}$ คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนจากค่าสังเกตของตัวแปรทำนาย

$\underline{Y}$ คือ เวกเตอร์ค่าสังเกตของตัวแปรเกณฑ์

Q^{DMST} คือ เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือด้วยค่า *DMST*

ทั้งนี้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\hat{\beta}}_{DMST}$ จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\underline{\beta}$ ที่มีความแปรปรวนเป็น

$$\mathbb{V}\left(\underline{\hat{\beta}}_{DMST}\right) = \sigma^{2}(\underline{X}^{'}Q^{DMST}\underline{X})^{-1}$$

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S โดยใช้ค่า *RMSE* มาเป็นเกณฑ์การพิจารณาพบว่า มี 397 สถานการณ์จาก 540 สถานการณ์ ที่ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ 141 สถานการณ์ แจกแจงแกมมา 127 สถานการณ์ และแจกแจงไวบูล 129 สถานการณ์

เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติพบว่า ทุกสถานการณ์ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และ 100 วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S แต่จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จะลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างลดลง ทั้งนี้หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากที่สุด เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และ 30 แต่จำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จะลดลงไปเมื่อร้อยละของค่านอกเกณฑ์ลดลง และจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากที่สุด เมื่อมีจำนวนพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 7 ซึ่งจะลดลงไปเมื่อจำนวนพารามิเตอร์ลดลง

เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงแกมมาพบว่า มีจำนวนสถานการณ์มากที่สุดที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200 และใกล้เคียงกับที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 แต่จำนวนจะลดลง เมื่อขนาดตัวอย่างลดลง หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ถึง 30 มีจำนวน

สถานการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S และเมื่อพิจารณาจากจำนวนพารามิเตอร์พบว่า ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และ 6 จะมีสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากกว่าที่จำนวนพารามิเตอร์ค่าอื่น

เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงไวบูลพบว่า จำนวนสถานการณ์ที่มากที่สุดที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ส่วนที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 200, 60 และ 40 พบว่า มีจำนวนสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน หากพิจารณาจากร้อยละของค่านอกเกณฑ์พบว่า เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ถึง 30 มีจำนวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S และเมื่อพิจารณาจากจำนวนพารามิเตอร์พบว่า ที่จำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 3 ถึง 6 จะมีสถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S มากกว่าที่จำนวนพารามิเตอร์ค่าอื่น

ดังนั้นจากสถานการณ์ทั้งหมดสรุปได้ว่า มี 397 สถานการณ์ที่ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ที่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 โดยพบว่า ส่วนใหญ่เป็นสถานการณ์ที่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และพบว่า มี 143 สถานการณ์ที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2

3. การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อใช้ข้อมูลจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์จากกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณได้นี้มาสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ ดังนี้

$$\hat{Y}_i = 13376.38438 - 1.08517 x_{1i} - 1.88325 x_{2i}$$

เมื่อ x_{1i} แทนจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน, x_{2i} แทนจำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ และ $\hat{Y}_i$ แทนเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

ทั้งนี้เมื่อพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์จากฐานข้อมูลของกรมการจัดหางาน สำนักงาน

ประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่ เดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 โดยสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *MAPE* เท่ากับร้อยละ 12.042 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานข้อที่ 2

อภิปรายผล

การอธิปรายผลการวิจัยนี้ เป็นการอธิปรายผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่แบ่งเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1. จากผลการวิจัยที่ได้ปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า S โดยใช้ค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นจากค่า Q_n ของ Rousseeuw and Croux (1993) ซึ่งเป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าค่า *MAD* มาร่วมกับระยะทางแบบยุคลิด และวิธีการต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด ภายใต้ขั้นตอนและวิธีการของพริม ทั้งนี้เพราะค่า *DMST* เป็นค่าสถิติที่ใช้หลักการเดียวกับค่าสถิติ Q_n คือ ไม่ได้เป็นการวัดระยะห่างจากค่ากึ่งกลาง หรือไม่ได้มีการวัดแบบสมมาตร แต่เป็นการเปรียบเทียบผลต่างของค่าสังเกต หรือค่าส่วนเหลือที่ละคู่ โดยงานวิจัยของ Rousseeuw and Croux (1993) และงานวิจัยของ Dave and Nakrani (2014) แสดงให้เห็นว่า การวัดในลักษณะนี้จะใช้ได้ดีกว่าค่า *MAD* ในกรณีที่ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงปรกติ หรือมีการแจกแจงแบบเบ้มาก ๆ

ทั้งนี้ค่าสถิติ Q_n สามารถนำมาแทนค่า *MAD* ในการหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีความแกร่งได้ โดยในงานวิจัยของ Smirnov and Shevlyakov (2014) แสดงให้เห็นว่า ค่า Q_n สามารถนำมาใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือแทนค่า *MAD* ในวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator) หรือวิธีตัวประมาณค่า M โดยผลการปรับแก้นี้ช่วยลดเวลาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และได้ตัวประมาณที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ใช้ค่า *DMST* ที่พัฒนาขึ้นจากค่า Q_n เพื่อนำมาใช้แทนค่า *MAD* ในวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S

นอกจากนี้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีตัวประมาณค่า S สามารถทำได้โดยการทำให้ค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผู้วิจัยพยายามปรับค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือให้มีค่าน้อยที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Milhano, Sequera and Sotto (2013) ที่ได้ปรับแก้ขั้นตอนการคำนวณหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยจะใช้ค่าเบี่ยงเบนของส่วนเหลือ และเลือกส่วนเหลือที่มีค่าเบี่ยงเบนน้อยที่สุดมาใช้คำนวณค่าน้ำหนัก เพื่อหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยแต่ละรอบ

2. ผลจากการจำลองสถานการณ์ จำนวน 540 สถานการณ์ พบว่า มี 397 สถานการณ์ที่วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *RMSE* น้อยกว่าวิธีตัวประมาณค่า S นั่นคือ วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 25 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 และจาก 143 สถานการณ์ที่ตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าวิธี

ตัวประมาณค่า S ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรณีที่มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 5 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2 ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tharmaratnam, Claeskens and Croux (2009) ที่แสดงให้เห็นว่า วิธีตัวประมาณค่า S ที่ปรับแก้ด้วยการทำค่าสังเกตให้เรียบ (Smoothing Observation) ในกรณีที่มีค่าสังเกตจำนวน 100 ค่า และมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า M และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oller, Alfons and Croux (2016) ที่ได้ปรับแก้วิธีตัวประมาณค่า S โดยการปรับแก้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกีและฮูเบอร์เพื่อนำมาใช้หาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS พบว่า วิธีการใหม่นี้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อมีตัวแปรทำนายจำนวนมากกว่า 2 ตัวแปรหรือมีจำนวนพารามิเตอร์มากกว่า 3 เช่นเดียวกับการวิจัยครั้งนี้

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S เมื่อใช้ข้อมูลจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์จากกรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคมและธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 พบว่า วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตัวประมาณค่า S แต่จากผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศจากจำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน และประเทศสิงคโปร์ ตั้งแต่ เดือนมกราคม ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ด้วยสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ให้ค่า *MAPE* เท่ากับร้อยละ 12.042 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานข้อที่ 2 ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพราะการส่งแรงงานไปแต่ละครั้ง ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนแรงงานไทย และจำนวนเงินนำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศอีก โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนแรงงานไทยในไต้หวันตามรายงานของสำนักงานแรงงานกรุงมะนิลา (ไทเป) (2560) พบว่า เป็นปัจจัยจากนายจ้าง บริษัทจัดหางาน ข้อกฎหมายหรือระเบียบที่ไม่เอื้อต่อการทำงาน ตลอดจนปัจจัยด้านพฤติกรรมของแรงงานเอง ซึ่งทั้งหมดนี้ถือว่า เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อจำนวนแรงงานในไต้หวัน และเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทย ซึ่งต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย

ทั้งนี้จากรายงานวิจัยของกระทรวงแรงงาน (2559) ยังได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนแรงงานไทยในไต้หวันที่ลดลง ที่ส่งผลต่อรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยคือ ค่าตอบแทนที่ได้รับ ความก้าวหน้าในอาชีพ และพฤติกรรมของแรงงาน

สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ และจำนวนเงินนำเข้าประเทศของแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ ตามที่ปรากฏในหนังสือพิมพ์โพสต์ทูเดย์ออนไลน์ (2560) ประกอบด้วย ปัจจัยด้านพฤติกรรมของแรงงาน ปัจจัยด้านค่าครองชีพ หรือค่าตอบแทน ปัจจัยด้านกฎหมายที่ไม่เอื้อต่อการทำงาน ตลอดจนปัจจัยทักษะส่วนบุคคล ได้แก่ ทักษะการสื่อสาร ทักษะฝีมือหรือความชำนาญในงาน

นอกจากนี้ปัจจัยด้านนโยบายถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำงานของแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์ ได้แก่ นโยบายการคัดเลือกแรงงานที่มีความรู้ ทักษะและความเชี่ยวชาญเฉพาะ โดยสักกรินทร์ นิยมศิลป์ (2559) ได้กล่าวถึงนโยบายของประเทศสิงคโปร์ ที่มีแนวคิดและกลไกลในการจูงใจแรงงานต่างชาติที่มีความรู้ ทักษะและความเชี่ยวชาญระดับสูงเข้า

ประเทศ ที่สามารถยกระดับการพัฒนาด้านเทคโนโลยี และพัฒนาขีดความสามารถทางด้านนวัตกรรม ซึ่งเป็นผลให้มีนักศึกษาและนักวิจัยจำนวนมากเข้ามาสู่สถาบันการศึกษาของสิงคโปร์ จนทำให้สิงคโปร์สามารถพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแบบก้าวกระโดดในหลายอุตสาหกรรม

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ยังมีปัจจัยที่สำคัญอื่นที่ส่งผลต่อเงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ นอกจากจำนวนแรงงานไทยในประเทศต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งการทำให้การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศมีความแม่นยำมากขึ้นจึงต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้มาประกอบการพยากรณ์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. กรมการจัดหางาน สำนักงานประกันสังคม และธนาคารแห่งประเทศไทย สามารถนำสมการถดถอยที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ไปสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ เพื่อนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางส่งเสริมและพัฒนาฝีมือแรงงานไทยก่อนส่งไปทำงานต่างประเทศ ที่มีส่วนช่วยลดอัตราการว่างงานของแรงงานไทย ทั้งนี้ควรสร้างสมการพยากรณ์จากขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนายร้อยละ 25 และมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5 หรือมีตัวแปรทำนาย 4 ตัวแปร และไม่ควรสร้างจากขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 ที่มีค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรทำนายร้อยละ 5 และมีจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2 หรือมีตัวแปรทำนายเพียงตัวแปรเดียว

2. นักวิชาการสามารถนำวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ ไปสร้างสมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ โดยพิจารณาเพิ่มตัวแปรทำนายอื่นที่มีความต่อเนื่อง เช่น ตัวแปรหรือปัจจัยด้านนายจ้าง ปัจจัยด้านบริษัทจัดหางาน ตลอดจนปัจจัยด้านพฤติกรรมของแรงงาน เพื่อให้ได้สมการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

1. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้นี้ ปรับแก้จากวิธีตัวประมาณค่า S ภายใต้ฟังก์ชันส่วนเหลือของทูกี ตามที่ Rousseeuw and Leroy (2003, p. 142) แนะนำ แต่ยังมีฟังก์ชันส่วนเหลือที่ Montgomery (2003, p. 388) ได้รวบรวมไว้ เช่น ฟังก์ชันส่วนเหลือของฮูเบอร์ (Huber) ฟังก์ชันส่วนเหลือของแรมเซย์ (Ramsay) ฟังก์ชันส่วนเหลือของแอนดริว (Andrews) ซึ่งการศึกษาต่อไปสามารถนำฟังก์ชันส่วนเหลือนี้ มาเป็นฟังก์ชันตั้งต้นของการคำนวณค่าน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี IRLS โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ทำให้ทราบว่าควรใช้ฟังก์ชันส่วนเหลือใดเหมาะสมที่สุด

2. การวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S ซึ่งสามารถพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีการอื่น เช่น วิธีตัวประมาณค่า M (M-estimator) วิธีตัวประมาณค่า GM (Generalized M-estimator) วิธีตัวประมาณค่า LMS (Least Median of Square Estimator) วิธีตัวประมาณค่า LTS (Least Trimmed Squares Estimator) เพื่อทราบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแต่ละวิธี ภายใต้การจำลองสถานการณ์ที่มีขนาดตัวอย่าง ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ จำนวนพารามิเตอร์ และการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ

บรรณานุกรม

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2552). *การใช้ SPSS for Window ในการวิเคราะห์ข้อมูล* (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กลุ่มงานเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ กระทรวงแรงงาน. (2557). สถานการณ์แรงงานไทยในต่างประเทศ. *วารสารเพื่อคนทำงาน*, *2*(6), 3-30.

กลุ่มงานวิจัยและวางแผนกำลังแรงงานสำนักเศรษฐกิจการแรงงาน กระทรวงแรงงาน. *ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของแรงงานไทยที่เดินทางไปทำงานต่างประเทศ: กรณีศึกษาไต้หวัน.* เข้าถึงได้จาก http://research.mol.go.th

กองบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ. *ช่องทางการเดินทางไปทำงานต่างประเทศที่ถูกกฎหมาย*. เข้าถึงได้จาก http://www.overseas.doe.go.th/_fund.php

กองวิจัยตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน. *สถานการณ์การว่างงาน การเลิกจ้างและความต้องการแรงงาน.* เข้าถึงได้จาก http://lmi.doe.go.th

กองวิจัยตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน. (2554, 11 มีนาคม). *รายงานผลการวิจัยตลาดแรงงานปี 2554*. เลขที่ กกจ 35/2555 กวต 7.

เจษฎา เงินดี และปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์. (2556). การตัดสินใจเข้าร่วมการทำงาน รายได้ และจำนวนชั่วโมงการทำงานของแรงงานไทย. *คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 17*(1), 22-42.

ชนัญกาญจน์ แสงประสาน, เสรี ชัดแช้ม และพัชรี วงษ์เกษม. (2558). การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา, 13*(2), 30-44.

ชญานิน บุญมานะ และนัท กุลวานิช. (2560). การเปรียบเทียบความแม่นยาของการพยากรณ์ด้วยตัวแบบอนุกรมเวลาแบบผสม. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25*(2), 177-190.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. (2549). *การพยากรณ์เชิงปริมาณ* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนาคารแห่งประเทศไทย. *สถานการณ์ด้านแรงงาน*. เข้าถึงได้จาก https://www.bot.or.th/Thai/Statistics/Indicators/Docs/TAB16.pdf

ผุสดี บุญรอด และกรวัฒน์ พลเยี่ยม. (2560). แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25*(3), 533-543.

ยงยุทธิ์ แฉล้มวงค์. (2560, 15 มิถุนายน). *ตัวเลขว่างงานกับอนาคตของประเทศไทย ในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล*. เข้าถึงได้จาก https://tdri.or.th/2017/06/unemployment-rate-in-digital-economy-era/

สำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ. *การไปทำงานต่างประเทศ.* เข้าถึงได้จาก http://www.overseas.doe.go.th/hiring.php

สำนักงานแรงงานกรุงมะนิลา (กรุงไทเป). *ปัญหาทั่วไปของแรงงานไทย*. เข้าถึงได้จาก http://taipei.mol.go.th/node/309

สำนักงานบริหารแรงงานไทยไปต่างประเทศ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน. (2558, 1 กรกฎาคม). *สรุปสถานการณ์การไปทำงานต่างประเทศ ของแรงงานไทย ประจำปี 2557.* เลขที่ กกค 66/2558.

สักกรินทร์ นิยมศิลป์. (2559). การเคลื่อนย้ายแรงงานฝีมือข้ามชาติ และนโยบายดึงดูดแรงงานฝีมือต่างชาติของเอเชีย. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ "ประชากรและสังคม 2559 ครั้งที่ 12"* (หน้า 37-52). กรุงเทพ ฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุเทพ พันประสิทธิ์, วรุณพันธ์ คงสม และชนาธิป มิธิดา. (2552). การศึกษาเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของแรงงานไทยในประเทศมาเลเซีย, *สุทธิปริทัศน์*, 23(70), 45-62.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. (2553). *สถิติเพื่อการวิจัยด้วยโปรแกรม R* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สุพีเรียลพริ้นติ้งเฮาส์ จำกัด.

ศิริพันธ์ หงษ์ทรัพย์ภิญโญ และพาชิตชนัต ศิริพานิช. (2558). ปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจเข้าสู่ตลาดแรงงานเสรีประชาคมอาเซียน ด้านวิชาชีพของพยาบาลในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. *วารสารธรรมศาสตร์, 34*(2), 33-52.

ศูนย์ข้อมูลข่าวสารเพื่อสิทธิพลเมือง. *ทำความจริงให้ปรากฏ*. เข้าถึงได้จาก http://www.tcijthai.com/news/2017/1/current/6648

ศูนย์ข้อมูลข่าวสารอาเซียน กรมประชาสัมพันธ์. *รายได้ส่งกลับของประเทศในอาเซียน.* เข้าถึงได้จาก http://www.aseanthai.net/ewt_news.php?nid=5986&filename=index_2 Cached

หนังสือพิมพ์ประชาไทออนไลน์. *เศรษฐกิจ*. เข้าถึงได้จาก https://prachatai.com/journal/2017/01/69655

หนังสือพิมพ์ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. *เศรษฐกิจ*. เข้าถึงได้จาก https://www.prachachat.net/csr-hr/news-104249

หนังสือพิมพ์โพสต์ทูเดย์ออนไลน์. *การวิเคราะห์สถานการณ์แรงงานไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.posttoday.com/analysis/report/482012

หนังสือพิมพ์โพสต์ทูเดย์ออนไลน์. *ข่าวทั่วไทย*. เข้าถึงได้จาก https://www.thairath.co.th/

content/805782

อ้อทิพย์ ราษฎร์นิยม และชมพูนุท โกสลากร เพิ่มพูนวิวัฒน์. (2552). แนวโน้มตลาดแรงงานไทยในต่างประเทศ. *เศรษฐศาสตร์ศรีนครินทรวิโรฒม์*, *5*(5), 113-120.

Abu-Shawiesh, M. O. A., Banik, S., Kibria, G., & Kibria, B. G. (2011). A simulation study on some confidence intervals for the population standard deviation. *SORT, 35*(2), 83-102.

Alma, Ö. G. (2011). Comparison of robust regression methods in linear regression. *Int. J. Contemp. Math. Sciences, 6*(9), 409-421.

Andersen, R. (2009). Nonparametric methods for modeling nonlinearity in regression analysis. *Annual Review of Sociology, 35*(6), 67-85.

Barreto, H., & Howland, F. (2005). *Introductory econometrics: using Monte Carlo simulation with Microsoft excel*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bayes, C. L., Bazán, J. L., & García, C. (2012). A new robust regression model for proportions. *Bayesian Analysis, 7*(4), 841-866.

Bondell, H. D., & Stefanski, L. A. (2013). Efficient robust regression via two-stage generalized empirical likelihood. *American Statistical Association, 108*(502), 644-655.

Bowerman, B., O'Connell, R., & Koehler, A. (2005). *Forecasting, time series and regression*. California: Thomson Learning Inc.

Cepeda, M. S., & Carr, D. B. (2003). Women experience more pain and require more morphine than men to achieve a similar degree of analgesia. *Anesth Analg, 97*(5), 1464–1468.

Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B., & Tukey, P. A. (1983). *Graphical Methods for Data Analysis*. California: Wadsworth International Group.

Chen, H. (2003). Robust regression with projection based m-estimators. *Statistics and Data Analysis, 27*(2), 1-13.

Chidambaranathan, S., & Peter, S. J. (2011). Detection of outlier-communities using minimum spanning tree. *Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 2*(11), 608-614.

Colin, C., SAS Institute Inc., & Cary, N. C. (2008). Robust regression and outlier detection with the ROBUSTREG procedure. *Statistics and Data Analysis*, *265*(27), 1-13.

Cristian, L. B., Jorge, L. B., & Catalina, G. (2012). A new robust regression model for proportions. *Bayesian Analysis*, *7*(4), 841-866.

Dave, M. B., & Nakrani, M. B. (2014). Malicious user detection in spectrum sensing for WRAN using different outliers detection techniques. *Engineering Trends and Technology*, *9*(7), 326-320.

Dehnel, G. (2015). Robust regression in monthly business survey. *Statistics in Transition New Series, 16*(1), 137-152.

Devore, J. L. (2012). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences* (8th ed.). Boston: Cengage Learning.

Flores, S. (2010). On the efficient computation of robust regression estimators. *Computational Statistics & Data Analysis, 54*(12), 3044-3056.

Gervini, D., & Yohai, V. J. (2002). A class of robust and fully efficient regression estimators. *Annals of Statistics*, *30*(2), 583-616.

Habshah, M., Norazan, M., & Rahmatullah, I. A. (2009). The performance of diagnostic-robust generalized potentials for the identification of multiple high leverage points in linear regression. *Applied Statistics, 36*(5), 507-520.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9th ed.). New York: McGraw Hill.

Johnsonbaugh, R. (2009). *Discrete Mathematics* (7th ed.). Chicago: Peason Education, Inc.

Julien I. E. (2015). *Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners* (1st ed.). California: Academic press.

Karthikeyan, T., & Peter, S. J. (2011). Outlier removal clustering through minimum spanning tree. *Computer Applications, 31*(10), 1-7.

Krischetein, T., Liebscher, S., & Becker, C. (2013). Robust estimation of location and scatter by pruning the minimum spanning tree. *Multivariate Analysis*, *120*, 173-184.

Kocak, E., Carruthers, K. H., & McMahan, J. D. (2011). A reliable method for the preoperative estimation of tissue to be removed during reduction mammaplasty. *Plastic and Reconstructive Surgery, 127*(3), 1059-1064.

Koller, M., & Stahel, W. A. (2011). Sharpening wald-type inference in robust regression for small samples. *Computational Statistics & Data Analysis, 55*(8), 2504-2515.

Laguna, M., & Marklund, J. (2013). *Business Process Modeling Simulation and Design* (2nd ed.). London: Taylor & Francis Group.

Lax, D. A. (1985). Robust estimators of scale: Finite-sample performance in long-tailed symmetric distributions. *American Statistical Association, 80*(391), 736-741.

Law, A. (2007). *Simulation Modeling and Analysis* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Maronna, R. A., & Yohai, V. J. (1991). The breakdown point of simultaneous general M estimates of regression and scale. *American Statistical Association, 86*(415), 699-703.

Maronna, R. A., & Yohai, V. J. (2017). Robust and efficient estimator of multivariate scatter and location. *Computational Statistics and Data Analysis, 109*(4), 64-75.

Marona, R., Martin, R., & Yohai, V. J. (2006). *Robust Statistics Theory and Methods*. New York: John Wiley & Sons.

Milhano, T., Sequera, J., & Sotto, E. D. (2013). Using S-estimators in parameter Identification . In *Proceedings of the Information Fusion International Conference 2013,* (pp. 1058-1065). Istanbul: Turkey.

Mircean, C., Shmulevich, I., Cogdell, D., Choi, W., Jia, Y., Tabus, I., & Zhang, W. (2005). Robust estimation of protein expression ratios with lysate microarray technology. *Bioinformatics, 21*(9), 1935-1942.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2003). *Introductions to Linear Regression Analysis* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2006). *Introductions to Linear Regression Analysis* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.

Ollerer, V., Alfons, A., & Croux, C. (2016). The shooting S-estimator for robust regression. *Computational Statistical, 31*(3), 829-844.

Onur, T., & CETIN, M. (2011). The Comparing of S-estimator and M-estimators in linear regression. *Gazi University Journal of Science, 24*(4), 747-752.

Panik, M. (2009). *Regression Modeling Methods, Theory, and Computation with SAS*. New York: Taylor & Francis Group.

Peter, S. J. (2010). Discovering local outliers using dynamic minimum spanning tree with self-detection of best number of clusters. *International Journal of Computer Applications*, *9*(7), 36-42.

Peter, S. J. (2014). Algorithm for clustering gene expression data with outliers using minimum spanning tree. *Science and Research*, *3*(2), 258-265.

Pimpan, A., & Prachoom, S. (2010). Robust estimation of regression coefficients with outliers. *Thailand Statistician, 8*(2), 183-205.

Pitselis, G. (2013). A review on robust estimators applied to regression credibility. *Computational and Applied Mathematics, 239*(8), 231-249.

Riani, M., Atkinson, A. C., & Perrotta, D. (2014). A parametric framework for the comparison of methods of very robust regression. *Statistical Science, 29*(1), 128-143.

Roelant, E., Aelst, S. V., & Croux, C. (2009). Multivariate generalized S-estimators. *Multivariate Analysis, 100*(5), 876–887.

Rousseeuw, P., & Yohai, V. (1984). Robust regression by means of S-estimators. In *Proceedings of Stochastische Mathematische Modelle* (pp. 256-272). Heidelberg: University of Heidelberg.

Rousseeuw, P. J. (1985). Multivariate estimation with high breakdown point. *Mathematical Statistics and Applications, 8*(2), 283-297.

Rousseeuw, P. J., & Christmann, A. (2003). Robustness against separation and outliers in logistic regression. *Computational Statistics & Data Analysis, 43*(3), 315-332.

Rousseeuw, P. J., & Croux, C. (1993). Alternatives to the median absolute deviation. *American Statistical Association, 88*(424), 1273-1283.

Rousseeuw, P. J., & Leroy, A. M. (2003). *Robust regression and outlier detection*. New York: John wiley & sons.

Salibian-Barrera, M., & Yohai, V. J. (2006). A fast algorithm for S-regression estimates. *Computational and Graphical Statistics, 15*(2), 414-427.

Schumacker, R. E., Monahan, M. P., & Mount, R. E. (2002). A comparison of OLS and robust regression using S-PLUS. *Multiple Linear Regression Viewpoints, 28*(2), 10-13.

Simonoff, J. S. (1984). A comparison of robust methods and detection of outliers techniques when estimating a location parameter. *Communications in Statistics-Theory and Methods, 13*(7), 813-842.

Smirnov, P. O., & Shevlyakov, G. L. (2014). Fast highly efficient and robust one-step M-estimators of scale based on Q_n. *Computational Statistics and Data Analysis, 78*(4), 153-158.

Stanimirova, I., Daszykowski, M., & Walczak, B. (2007). Dealing with missing values and outliers in principal component analysis. *Talanta, 72*(1), 172-178.

Susanti, Y., & Pratiwi, H. (2014). M estimation, S estimation, and MM estimation in robust regression. *Pure and Applied Mathematics, 91*(3), 349-360.

Tabatabai, M. B., Ebay, H. L., Bae, S., & Singh, K. P. (1012). TELBS robust linear regression method. *Open Access Medical Statistics*, *2*(5), 65-84.

Taylor, B. W. (2007). *Introduction to Management Science* (9^{th} ed.). New Jersey: Peason Prentice Hall.

Tharmaratnam, K., Claeskens, G., Croux, C., & Salibián-Barrera, M. (2010). S-estimation for penalized regression splines. *Computational and Graphical Statistics, 19*(3), 609-625.

Van Aelst, S., & Willems, G. (2005). Multivariate Regression S-estimator for robust estimation and inference. *Statistica Sinica*, *15*(3), 981-1001.

Velten, K. (2009). *Mathematical modeling and simulation: introduction for scientists and engineers*. New York: John Wiley & Sons.

Verardi, V., & McCathie, A. (2012). The S-estimator of multivariate location and scatter in Stata. *Stata, 12*(2), 299-314.

Weisberg, S. (1980). *Applied Linear Regression*. New York: John Wiley & Sons.

William, L. D., & Shultis, J. K. (2012). *Exploring Monte Carlo Methods*. New York: Taylor & Francis Group.

Yarmohammadi, M., & Mahmoudvand, R. (2010). The effect of outliers on robust and resistant coefficient of determination in the linear regression models. *Academic Research, 2*(3), 133-138.

Zaman, A., Rousseeuw, P. J., & Orhan, M. (2001). Econometric applications of high-breakdown robust regression techniques. *Economics Letters, 71*(1), 1-8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

จำนวนเงินนำเข้าประเทศ และจำนวนแรงงานไทยประเทศที่นิยมไปทำงานจำแนกเป็นรายเดือน
ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2559

ภาคผนวก ก จำนวนเงินนำเข้าประเทศ (ล้านบาท) และจำนวนแรงงานไทยในต่างประเทศ จำแนกเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2559

	พ.ศ. 2547											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	12,664	12,759	9,968	12,640	12,257	15,183	10,639	14,324	12,495	10,691	11,867	13,109
ไต้หวัน	5,329	6,346	5,165	6,512	5,640	7,621	4,137	6,643	5,673	4,984	5,772	6,160
สิงคโปร์	750	1,566	839	1,277	1,161	904	713	948	809	790	689	892
มาเลเซีย	2,559	573	304	374	452	241	189	292	216	192	260	181
ญี่ปุ่น	471	414	396	373	546	511	428	524	605	564	510	515
อิสราเอล	42	90	144	220	1,009	1,946	1,230	2,043	1,175	790	803	1,119
อื่นๆ	3,513	3,770	3,120	3,884	3,449	3,960	3,942	3,874	4,017	3,371	3,833	4,242
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	4,701	4,403	5,644	6,621	5,267	6,020	5,613	5,720	4,155	4,441	4,199	4,298

	พ.ศ. 2548											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	10,157	11,946	8,731	9,978	11,511	12,708	10,060	15,408	14,802	11,279	13,291	9,796
ไต้หวัน	4,229	5,011	2,419	2,963	4,043	4,961	3,969	7,845	7,033	5,596	5,812	3,782
สิงคโปร์	941	1,446	975	1,208	1,138	998	756	874	839	816	977	812
มาเลเซีย	294	480	1,094	800	352	282	286	354	265	254	289	165
ญี่ปุ่น	595	564	450	406	666	576	497	683	726	557	558	307
อิสราเอล	148	198	626	590	1,218	1,183	727	821	802	519	1,011	903
อื่นๆ	3,950	4,247	3,167	4,011	4,094	4,708	3,825	4,831	5,137	3,537	4,644	3,827
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	3,786	3,722	4,219	4,093	4,004	4,345	3,843	3,970	3,822	3,639	3,893	4,354

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2549											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	13,168	14,774	13,942	12,435	13,194	13,783	15,022	12,973	13,053	13,056	13,700	11,746
ไต้หวัน	5,522	6,686	6,254	5,295	4,786	5,349	5,431	4,346	4,605	4,796	4,643	4,349
สิงคโปร์	1,246	1,619	1,369	1,457	1,518	1,181	1,175	956	1,074	1,205	1,110	1,054
มาเลเซีย	306	445	369	259	399	310	237	206	237	185	255	210
ญี่ปุ่น	744	554	509	446	629	680	748	671	567	651	625	394
อิสราเอล	76	57	166	319	549	611	835	280	2,063	1,436	1,810	1,110
อื่นๆ	5,274	5,413	5,275	4,659	5,313	5,652	6,596	6,514	4,507	4,783	5,257	4,629
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	3,825	3,570	4,121	3,587	4,221	8,182	4,046	4,172	4,169	4,582	4,678	4,832

	พ.ศ. 2550											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	12,476	14,273	10,537	14,402	14,043	12,974	15,550	13,332	13,440	13,251	13,789	13,850
ไต้หวัน	4,579	5,209	3,739	4,445	3,987	4,586	4,334	4,036	4,783	4,350	4,343	3,802
สิงคโปร์	1,398	1,525	1,291	1,925	1,973	1,470	1,321	1,074	1,177	994	1,028	1,095
มาเลเซีย	222	370	266	374	356	337	259	225	264	283	225	251
ญี่ปุ่น	892	630	624	537	874	665	654	576	784	694	571	501
อิสราเอล	331	574	598	741	1,359	1,245	711	688	608	596	1,337	2,115
อื่นๆ	5,054	5,965	4,019	6,380	5,494	4,671	8,271	6,733	5,824	6,334	6,285	6,086
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	4,735	4,623	4,514	4,413	4,697	4,804	4,208	4,577	4,426	5,542	5,107	4,753

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2551											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	15,155	13,101	12,567	14,600	11,984	15,238	15,396	12,811	13,655	12,171	13,924	11,050
ไต้หวัน	4,021	3,933	3,597	4,076	3,403	5,101	3,419	3,911	4,425	3,593	3,471	2,138
สิงคโปร์	1,645	1,688	1,600	1,637	1,505	1,318	1,061	888	943	819	886	944
มาเลเซีย	300	368	273	336	375	259	300	260	245	265	265	230
ญี่ปุ่น	812	550	621	617	710	766	536	579	644	712	559	449
อิสราเอล	756	165	1,095	421	327	744	605	479	480	314	879	856
อื่นๆ	7,621	6,397	5,381	7,513	5,664	7,050	9,475	6,694	6,918	6,468	7,864	6,433
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	5,418	4,946	5,192	5,308	5,461	5,529	5,624	5,211	5,436	5,291	4,483	5,208

	พ.ศ. 2552											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	11,186	12,404	9,519	12,680	13,901	15,968	14,700	12,403	11,815	10,086	12,278	10,771
ไต้หวัน	2,209	2,690	2,355	2,678	2,821	3,496	2,821	3,204	3,567	3,011	3,803	3,208
สิงคโปร์	1,190	1,628	1,117	1,637	1,474	1,304	1,015	973	800	835	1,085	944
มาเลเซีย	289	508	305	473	351	337	231	223	329	391	231	214
ญี่ปุ่น	508	471	321	371	544	395	381	580	511	475	513	470
อิสราเอล	1,057	737	98	401	720	949	596	309	215	183	509	564
อื่นๆ	5,933	6,370	5,323	7,120	7,991	9,487	9,656	7,114	6,393	5,191	6,137	5,371
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	5,635	5,174	5,913	5,345	5,187	5,028	5,299	5,384	6,014	6,012	5,360	6,052

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2553											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	11,331	12,313	10,027	11,478	12,583	13,941	15,129	12,489	11,722	10,634	11,723	10,425
ไต้หวัน	2,913	3,628	2,868	3,261	3,187	4,545	3,427	3,314	3,680	3,609	3,666	2,829
สิงคโปร์	1,137	1,409	1,309	1,503	1,457	914	820	1,054	767	609	829	911
มาเลเซีย	266	337	304	306	379	284	220	244	282	224	404	380
ญี่ปุ่น	575	521	469	397	650	578	340	618	595	512	505	342
อิสราเอล	688	410	224	432	993	1,294	912	945	710	480	707	27
อื่นๆ	5,752	6,008	4,853	5,579	5,917	6,326	9,410	6,314	5,688	5,200	5,612	5,936
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	6,307	6,196	6,589	5,843	5,390	6,069	5,590	6,070	5,265	5,307	6,772	7,403

	พ.ศ. 2554											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	11,767	12,172	11,341	14,414	12,950	13,446	15,238	12,059	10,988	9,878	10,903	12,467
ไต้หวัน	3,270	4,289	3,698	4,268	3,953	5,409	4,213	4,858	4,121	3,649	3,346	2,765
สิงคโปร์	1,248	1,278	1,032	1,533	1,181	810	798	701	616	651	834	779
มาเลเซีย	344	448	412	389	493	374	278	288	398	287	321	289
ญี่ปุ่น	575	463	316	414	514	478	355	625	447	457	1,195	3,463
อิสราเอล	97	232	578	1,045	1,195	1,157	1,168	823	764	479	750	1,045
อื่นๆ	6,233	5,462	5,305	6,765	5,614	5,218	8,426	4,764	4,642	4,355	4,457	4,126
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	7,015	6,133	6,826	8,027	6,907	7,567	6,951	7,746	7,117	7,232	6,876	7,440

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2555											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	12,772	11,354	10,209	12,269	12,141	9,794	17,258	10,616	8,825	9,651	9,510	9,702
ไต้หวัน	3,351	3,565	3,335	3,688	3,879	3,728	3,203	3,204	3,063	3,087	2,880	2,145
สิงคโปร์	1,153	1,221	940	1,538	1,346	957	797	877	679	694	747	915
มาเลเซีย	401	646	473	354	307	312	385	526	197	348	273	219
ญี่ปุ่น	1,940	869	418	562	829	487	518	664	675	675	503	489
อิสราเอล	908	149	156	191	176	206	353	274	436	494	915	763
อื่นๆ	5,019	4,904	4,887	5,936	5,604	4,104	12,002	5,071	3,775	4,353	4,192	5,171
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	7,509	7,284	7,482	7,319	7,627	7,538	7,595	7,633	7,221	7,249	6,697	7,008

	พ.ศ. 2556											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	7,436	10,705	8,712	11,865	12,276	15,468	18,479	8,501	9,966	8,956	9,450	8,697
ไต้หวัน	699	3,353	2,050	3,196	3,155	3,526	4,068	2,889	3,234	2,714	2,978	2,769
สิงคโปร์	982	1,033	1,030	1,352	1,325	940	931	628	612	560	631	704
มาเลเซีย	370	490	302	457	352	312	283	254	258	262	250	260
ญี่ปุ่น	592	544	607	439	750	564	559	654	575	612	510	498
อิสราเอล	209	328	109	464	851	1,124	415	892	911	1,130	1,097	863
อื่นๆ	4,584	4,957	4,614	5,957	5,843	9,002	12,223	3,184	4,376	3,678	3,984	3,603
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	6,414	6,347	6,407	6,363	7,558	7,345	7,985	8,112	8,129	7,880	7,825	7,679

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2557											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	8,212	8,619	9,015	11,212	10,792	10,752	14,481	9,608	9,229	8,018	10,089	9,502
ไต้หวัน	2,488	2,549	2,999	3,428	3,224	3,602	3,023	3,102	3,494	3,025	3,228	2,943
สิงคโปร์	812	914	698	1,083	964	730	559	576	428	432	493	502
มาเลเซีย	273	397	260	374	359	208	208	214	216	208	298	222
ญี่ปุ่น	758	605	725	520	730	612	500	721	751	478	672	542
อิสราเอล	142	236	320	326	935	823	1,214	824	661	303	913	921
อื่นๆ	3,739	3,918	4,013	5,481	4,580	4,777	8,977	4,171	3,679	3,572	4,485	4,372
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	8,316	6,786	7,237	7,111	7,344	7,194	7,603	7,402	7,991	8,068	7,702	7,880

	พ.ศ. 2558											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	9,111	8,367	8,098	10,936	10,176	15,722	11,773	9,148	9,713	7,716	8,738	7,793
ไต้หวัน	2,615	2,890	2,466	3,255	3,050	3,989	2,560	2,891	3,371	2,464	2,914	2,273
สิงคโปร์	709	678	652	1,054	897	539	433	549	398	394	447	515
มาเลเซีย	299	305	335	493	362	323	201	163	209	155	284	189
ญี่ปุ่น	619	540	570	524	722	794	472	913	758	629	620	544
อิสราเอล	515	221	448	362	536	903	931	850	340	584	725	729
อื่นๆ	4,354	3,733	3,627	5,248	4,609	9,174	7,176	3,782	4,637	3,490	3,748	3,543
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	6,633	6,318	6,463	6,484	6,929	8,100	7,858	8,364	8,414	8,425	8,475	8,544

ภาคผนวก ก (ต่อ)

	พ.ศ. 2559											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แรงงานไทยเดินทางไปทำงานต่างประเทศ (คน)	7,995	8,690	9,098	10,525	9,510	12,940	11,825	11,118	8,055	8,204	8,710	7,767
ไต้หวัน	2,248	2,682	2,840	2,883	2,668	3,566	2,796	3,936	2,984	2,896	3,045	2,483
สิงคโปร์	514	707	552	827	654	510	368	415	295	276	353	372
มาเลเซีย	224	289	309	289	291	189	245	283	241	301	230	372
ญี่ปุ่น	692	689	672	679	826	757	614	974	781	817	562	547
อิสราเอล	396	891	648	497	856	783	706	813	579	434	1,362	664
อื่นๆ	3,921	3,432	4,077	5350	4,215	7135	7,096	4,697	3,175	3480	3,158	3,329
รายได้นำเข้า (ล้านบาท)	8,456	8,484	10,005	8,694	8,698	9,903	8,991	9,545	10,248	10,368	9,968	11,221

ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง ผลการคำนวณค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล

ภาคผนวก ข-1 ผลการคำนวณหาค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติ

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	ค่าสถิติ	จำนวนพารามิเตอร์					
			2	3	4	5	6	7
100	5	DMST	0.7367320	1.0779770	0.7384400	0.7593890	0.8576530	0.9676480
		MAD	0.6472089	0.6298329	0.6267542	0.6311627	0.6644687	0.6167223
	10	DMST	0.7476480	1.0865080	0.7552330	1.0769510	0.8400090	0.8152630
		MAD	0.6284065	0.6347528	0.5813217	0.6281565	0.6290583	0.6062172
	15	DMST	0.7470060	1.0738270	0.8398720	0.7793840	0.8547300	0.8847650
		MAD	0.6510705	0.6341563	0.5813208	0.6079703	0.6325227	0.6072751
	20	DMST	0.7360610	0.9729780	0.8382240	0.7792170	0.8226150	0.8831320
		MAD	0.6581022	0.6330100	0.5809660	0.5590155	0.6868240	0.6064235
	25	DMST	0.7448120	0.9385940	0.8218140	0.7618380	0.7408620	0.9777820
		MAD	0.6472703	0.6358130	0.5859605	0.6213335	0.6266117	0.6055379
	30	DMST	0.7492350	0.9238320	0.8219460	0.6984190	0.7093950	0.9538810
		MAD	0.6455867	0.6345469	0.5807445	0.6074231	0.6286847	0.6058445
200	5	DMST	0.8064440	0.8912730	0.7876630	0.8441410	0.8511060	0.8549880
		MAD	0.6338929	0.6206921	0.6414986	0.5990240	0.5934525	0.6225498
	10	DMST	1.1985650	0.9377080	0.7657040	0.8468140	0.8822170	0.8294580
		MAD	0.6361416	0.6064769	0.6112473	0.6098155	0.6181341	0.6384047
	15	DMST	0.8439680	0.9069290	0.7397010	0.9113950	0.8963840	0.7957630
		MAD	0.6366577	0.6233164	0.6281621	0.6082190	0.6145621	0.6234375
200	20	DMST	0.8771960	0.8688710	0.7844360	0.8455990	0.8818940	0.7709610
		MAD	0.6361416	0.6243160	0.6238558	0.5878858	0.6172360	0.6306315
	25	DMST	0.9258420	0.4323820	0.8592900	0.8394720	0.8818380	0.7636130
		MAD	0.6403472	0.6195150	0.6204666	0.6203342	0.6161182	0.6412620
	30	DMST	0.9258270	0.9336670	0.8217670	0.8340470	0.8815560	0.8329860
		MAD	0.6404112	0.6190371	0.6314191	0.6253020	0.6151952	0.6349866

ภาคผนวก ข-2 ผลการคำนวณหาค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงแกมมา

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	ค่าสถิติ	จำนวนพารามิเตอร์					
			2	3	4	5	6	7
100	5	DMST	0.8348069	0.8585685	0.7324695	1.0639010	0.9942293	1.0463119
		MAD	0.6120360	0.6202660	0.6819450	0.6592180	0.5945410	0.6999950
	10	DMST	0.9501947	0.8468964	0.8445764	1.0769509	0.9024797	0.9040458
		MAD	0.6272270	0.6030880	0.6723280	0.6398010	0.5798480	0.7012520
	15	DMST	0.9775106	0.8329797	0.7668337	1.1224613	0.9339808	1.0074840
		MAD	0.6423266	0.6057270	0.6721920	0.6423180	0.5792730	0.6740740
	20	DMST	0.9772406	0.8543884	0.7533560	1.1882229	1.0425774	0.9158086
		MAD	0.6216004	0.6069340	0.6718240	0.6555350	0.6153020	0.7120310
100	25	DMST	0.9772388	0.7373381	0.7164878	1.1921564	0.9186668	0.9346549
		MAD	0.6211813	0.6070450	0.6743190	0.6005470	0.5836010	0.7109320
	30	DMST	0.9950247	0.7245113	0.8861097	1.1318940	0.9179878	0.9538808
		MAD	0.5994113	0.6060630	0.6745750	0.6476510	0.5818520	0.7114820
200	5	DMST	0.8805443	0.9182068	1.1409880	1.0659960	1.1508134	1.0259684
		MAD	0.7789704	0.7785040	0.7792140	0.7809800	0.7712780	0.7586710
	10	DMST	0.8803569	0.8987042	1.0817298	0.9557317	1.1036864	1.0229842
		MAD	0.7721298	0.7839280	0.7675850	0.7567380	0.7321370	0.7369040
	15	DMST	0.8923491	0.8956387	1.0250144	0.9470700	1.1262108	0.9522827
		MAD	0.7729082	0.7837230	0.7632560	0.8179230	0.7348090	0.7298880
	20	DMST	0.8914517	0.9164168	0.922349	0.9273998	1.0702857	1.0100533
		MAD	0.7796793	0.7649520	0.7823430	0.773894	0.7392550	0.7644350
	25	DMST	0.8914245	0.9198758	0.8871837	0.9779853	1.0800919	1.0439065
		MAD	0.7771662	0.7790320	0.6868780	0.7956310	0.7287560	0.7443650
	30	DMST	0.9305430	0.9437570	0.8291914	0.9429197	1.1673012	1.1307526
		MAD	0.7759712	0.7765730	0.7911350	0.7997640	0.7277840	0.7664570

ภาคผนวก ข-3 ผลการคำนวณหาค่า *DMST* กับค่า *MAD* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงไวบูล

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	ค่าสถิติ	จำนวนพารามิเตอร์					
			2	3	4	5	6	7
100	5	DMST	0.4019943	0.4555430	0.4149388	0.4791013	0.4740193	0.3342957
		MAD	0.2900927	0.3388170	0.3313210	0.2903640	0.3058110	0.3305250
	10	DMST	0.3879886	0.4174114	0.3765442	0.4291863	0.4688362	0.3591010
		MAD	0.2915945	0.336848	0.3318480	0.3018270	0.3218110	0.3108720
	15	DMST	0.3682538	0.4319104	0.3853180	0.4178372	0.3939541	0.3593180
		MAD	0.2975466	0.3359380	0.3285220	0.3099060	0.3068840	0.3111900
	20	DMST	0.3800509	0.4428572	0.4003817	0.3810608	0.4450296	0.3723785
		MAD	0.3004316	0.3335050	0.3326330	0.3015550	0.3250050	0.3119910
	25	DMST	0.3803614	0.4138919	0.4134677	0.3526853	0.4450352	0.3512435
		MAD	0.3103274	0.3328620	0.3348450	0.2787720	0.3261490	0.313584
	30	DMST	0.3803614	0.4174833	0.4133884	0.3760189	0.3320680	0.3879223
		MAD	0.3103274	0.3328250	0.3370660	0.2721990	0.3069620	0.3141080
200	5	DMST	0.4278577	0.4311165	0.4052163	0.4536485	0.4104618	0.4142589
		MAD	0.2886507	0.2865300	0.2913680	0.2944950	0.2936670	0.2731660
	10	DMST	0.4440614	0.4352426	0.3923187	0.4237847	0.4009877	0.3764628
		MAD	0.2863619	0.2880200	0.2771390	0.3055150	0.2992750	0.2879480
	15	DMST	0.4277145	0.4324017	0.3598368	0.466542	0.4041877	0.3936139
		MAD	0.2868704	0.2881810	0.2904780	0.3144430	0.2996280	0.2759860
	20	DMST	0.4440601	0.4362489	0.3661463	0.4218518	0.3898999	0.4099625
		MAD	0.2863619	0.2876160	0.2939060	0.2815430	0.2992810	0.2816690
	25	DMST	0.4423051	0.4323820	0.3902706	0.4013485	0.3879629	0.4063240
		MAD	0.2865731	0.2884010	0.2850260	0.2941600	0.2998830	0.2981370
	30	DMST	0.4440722	0.4392163	0.3937057	0.3929052	0.3698924	0.3675180
		MAD	0.2856296	0.288426	0.2952110	0.2916930	0.2997930	0.2588190

ภาคผนวก ค

ตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า *S* จากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล

ภาคผนวก ค-1 สัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติ

วิธีการประมาณค่า	ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ถดถอย						
				Beta 0	Beta 1	Beta 2	Beta 3	Beta 4	Beta 5	Beta 6
AS	100	10	2	2.5813480	3.5593910					
			3	2.7371860	3.5581840	4.5465200				
			4	2.7201370	3.5599410	4.5480020	5.0978480			
			5	2.6787170	3.5595850	4.5479860	5.0989490	3.6563620		
			6	2.6857010	3.5589440	4.5491750	5.0983060	3.5635950	2.8748690	
			7	2.6028860	3.5634090	4.5453780	5.1001610	3.5639620	2.8725890	1.6584010
S	100	10	2	2.5756840	3.5592530					
			3	2.6927470	3.5578160	4.5492200				
			4	2.5867100	3.5596380	4.5509790	5.0978980			
			5	2.6571770	3.5600350	4.5477380	5.0991440	3.6563850		
			6	2.5517380	3.5589510	4.5482770	5.0972900	3.5641200	2.8757570	
			7	2.3696420	3.5639810	4.5465420	5.1011250	3.5654230	2.8717150	1.6589780
LS	100	10	2	-4.9447424	3.2223128					
			3	30.8875879	3.1451038	3.8767889				
			4	12.9541053	2.8976214	4.0135003	4.6259560			
			5	-3.2172853	3.0699774	4.2006729	4.3437637	3.1762166		
			6	25.6452041	3.0285061	3.8050951	4.2538666	3.0567436	2.6888960	
			7	33.6307331	2.7865744	4.7574364	4.2587553	3.1522581	2.2720167	1.4727826

ภาคผนวก ค-2 สัมประสิทธิ์ถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงแกมมา

วิธีการประมาณค่า	ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ถดถอย						
				Beta 0	Beta 1	Beta 2	Beta 3	Beta 4	Beta 5	Beta 6
AS	100	10	2	3.8618700	3.5604000					
			3	3.7417850	3.5611050	4.5500490				
			4	3.8785490	3.5588460	4.5488940	5.09867600			
			5	3.8383050	3.5594970	4.5458790	5.09924800	3.6540590		
			6	3.9184920	3.5618580	4.5473210	5.09627000	3.5630740	2.8765070	
			7	3.7877580	3.5599560	4.5450560	5.10105300	3.5649450	2.8741170	1.6584010
S	100	10	2	3.7319740	3.5616440					
			3	3.7386880	3.5610630	4.5501340				
			4	3.8227620	3.5589410	4.5488360	5.09778900			
			5	3.8841050	3.5590670	4.5440730	5.09919400	3.6547470		
			6	3.9132030	3.5620960	4.5484250	5.09785700	3.5614340	2.8774880	
			7	3.5525790	3.5601610	4.5458430	5.10102100	3.5650930	2.8742230	1.6589330
LS	100	10	2	-3.4815404	3.2235184					
			3	32.2766688	3.1492285	3.8781045				
			4	14.3926242	2.8968003	4.0128051	4.6279397			
			5	-1.7388823	3.0695688	4.1994204	4.3421987	3.1773600		
			6	27.1163907	3.0306651	3.8038809	4.2521413	3.0570584	2.6903269	
			7	33.6307331	2.7865744	4.7574364	4.2587553	3.1522581	2.2720167	1.4727826

ภาคผนวก ค-3 สัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้กับวิธีตัวประมาณค่า S จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงไวบูล

วิธีการประมาณค่า	ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ถดถอย						
				Beta 0	Beta 1	Beta 2	Beta 3	Beta 4	Beta 5	Beta 6
AS	100	10	2	3.2623900	3.5611490					
			3	3.3039340	3.5604770	4.5475550				
			4	3.3022260	3.5602920	4.5477000	5.0991070			
			5	3.3006210	3.5607190	4.5472500	5.0988770	3.6540810		
			6	3.3083010	3.5602660	4.5478920	5.0983660	3.5633780	2.8746700	
			7	3.3006880	3.5611750	4.5476360	5.0985700	3.5628580	2.8746520	1.6584850
S	100	10	2	3.2620970	3.5616410					
			3	3.3067050	3.5605930	4.5477390				
			4	3.3023350	3.5600490	4.5476740	5.0991750			
			5	3.2803700	3.5609590	4.5471540	5.0989150	3.6543070		
			6	3.3061170	3.5608450	4.5482310	5.0983690	3.5633420	2.8748310	
			7	3.2985690	3.5605820	4.5482830	5.0981620	3.5632320	2.8744620	1.6582510
LS	100	10	2	-4.3139065	3.2233944					
			3	31.4800799	3.1469159	3.8772939				
			4	13.5538102	2.8976570	4.0132022	4.6278847			
			5	-2.5937036	3.0703551	4.2006917	4.3437203	3.17580780		
			6	26.2759963	3.0300915	3.8041629	4.2534024	3.05677110	2.6885025	
			7	32.7656331	2.7877904	4.7578741	4.2594067	3.15274120	2.2736548	1.47215480

ตารางภาคผนวก ง

ตัวอย่าง ค่า *MAPE* และ *RMSE* จากความคลาดเคลื่อนแจกแจงปรกติ แจกแจงแกมมา และแจกแจงไวบูล

ภาคผนวก ง-1 ค่า *MAPE* และ *RMSE* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงปรกติ

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	10	7	AS	0.2750523226	**0.835983532**
			S	0.3021820625	0.880357357
			LS	3.7719327581	111.3053243
20	15	7	AS	0.2707957544	**0.835551049**
			S	0.3381421267	1.261834013
			LS	7.5804547403	296.1220443
20	20	5	AS	0.3180142282	**0.872124943**
			S	0.3020603671	0.880600317
			LS	4.1509130515	268.1203648
		6	AS	0.1999929729	**0.897634987**
			S	0.2145920032	0.918774307
			LS	3.8914942133	296.1477719
		7	AS	0.2617501382	**0.888689811**
			S	0.2632194460	0.888849693
			LS	5.7762846475	295.6389315
20	25	4	AS	0.1557161849	**1.000729463**
			S	0.3250558165	1.592490417
			LS	3.4332384595	319.1905038
		5	AS	0.1693813581	**0.845478206**
			S	0.1716883765	0.846250272
			LS	4.5109530044	272.2557798
		6	AS	0.1998785624	**0.769350003**
			S	0.2187526192	0.994333123
			LS	4.0792035507	170.6172837
		7	AS	0.2603700301	**0.878779501**
			S	0.2999853856	1.260722442
			LS	7.0381929004	334.3671831

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	30	4	AS	0.1557161849	**0.947023600**
			S	0.1553031955	0.945615738
			LS	3.4332384595	98.50813211
		5	AS	0.1811418341	**1.173072883**
			S	0.1808858413	1.142011280
			LS	4.7205831243	248.4759414
		6	AS	0.1682381178	**1.000434619**
			S	0.1597494763	1.000729463
			LS	5..4892959542	319.1905038
		7	AS	0.2609694184	**0.875393864**
			S	0.2996350926	0.876814449
			LS	7.6537137994	277.1992279
40	5	4	AS	0.6933633819	**1.153640180**
			S	0.6296823508	1.334329700
			LS	3.6839595809	238.7752041
		5	AS	4.0846846888	**1.133733251**
			S	6.2853316432	1.216616397
			LS	8.7640310630	102.6466658
		6	AS	1.6410887009	**1.247673537**
			S	1.6296167001	1.250912368
			LS	4.4470647956	149.4371984
		7	AS	0.3595609771	**1.091647011**
			S	0.3461733528	1.096124397
			LS	1.3203276653	38.13292367

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	10	4	AS	0.1951370118	**1.152447561**
			S	0.2002039891	1.187907358
			LS	4.9453927892	893.6498803
		5	AS	0.5060501994	**1.096075328**
			S	0.5783235471	1.325576327
			LS	4.8617013899	147.8822838
		6	AS	0.8402284817	1.120333495
			S	0.7734412078	**1.193836655**
			LS	2.2065030481	158.6677665
		7	AS	0.3270679810	**1.112261020**
			S	0.3303493983	1.132999053
			LS	7.0675187164	178.4055079
40	15	4	AS	0.2197805169	**1.154280564**
			S	0.2230885006	1.215892657
			LS	5.5735824915	299.7599735
		5	AS	0.5434956069	**1.236251704**
			S	0.5171107118	1.285910496
			LS	7.3788012140	240.3847901
		6	AS	0.8556021255	**1.121092790**
			S	0.5391814496	1.251222390
			LS	5.8826090756	237.8948772
		7	AS	0.3321032581	**1.095458922**
			S	0.3436719678	1.134642945
			LS	9.3996214046	288.4241832

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	20	4	AS	0.2421431558	**1.140158079**
			S	0.2414043847	1.142198501
			LS	9.7366234162	406.0976858
		5	AS	0.5487381025	**1.232927230**
			S	0.5115571126	1.301573895
			LS	5.5030861315	170.3104351
		6	AS	0.7965039418	**1.116325227**
			S	0.7694680577	1.232667994
			LS	2.7738668733	345.3560883
		7	AS	0.3554293502	**1.110732802**
			S	0.3433141416	1.123395741
			LS	8.9981727898	286.6970788
40	25	3	AS	1.1547056787	**1.157734308**
			S	1.2592468127	1.197811145
			LS	8.0800182040	189.2961380
		4	AS	0.2363216234	**1.189196695**
			S	0.2353289050	1.191458441
			LS	2.3186295196	213.8782911
		5	AS	0.5409628187	**1.224202376**
			S	0.5110859064	1.312821252
			LS	5.2999605160	225.9878764
		6	AS	0.9611477209	**1.122579969**
			S	0.7084041386	1.193267606
			LS	3.2068775552	362.1526448
		7	AS	0.3530819503	**1.107681153**
			S	0.3615955119	1.119293406
			LS	10.461113546	320.6315589
40	30	3	AS	1.1415174483	**1.152143620**
			S	1.2521866059	1.197678113
			LS	10.2173286509	228.2274412

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	30	4	AS	1.150384561	**1.150384561**
			S	1.178485398	1.178485398
			LS	367.504756	367.504756
		5	AS	1.27233834	**1.27233834**
			S	1.279976664	1.279976664
			LS	350.3269999	350.3269999
		6	AS	1.125163822	**1.125163822**
			S	1.190843081	1.190843081
			LS	360.5891035	360.5891035
		7	AS	1.085304063	**1.085304063**
			S	1.104708773	1.104708773
			LS	318.4797186	318.4797186
60	5	3	AS	0.1504468901	**0.1504468901**
			S	0.1504538271	0.1504538271
			LS	16.7694921237	16.7694921237
		4	AS	0.2584210447	**0.2584210447**
			S	0.3087172869	0.3087172869
			LS	12.7655338149	12.7655338149
		5	AS	0.9355320851	**0.9355320851**
			S	0.9687855552	0.9687855552
			LS	154.4782634787	154.4782634787
		6	AS	0.9511950399	**0.9511950399**
			S	0.9512279987	0.9512279987
			LS	136.0592143629	136.0592143629
		7	AS	0.8988770639	**0.8988770639**
			S	0.9087101224	0.9087101224
			LS	191.3499016576	191.3499016576

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	10	3	AS	0.0179310880	**0.1504481493**
			S	0.0179307727	0.1504517071
			LS	8.0104827190	27.5817276056
		4	AS	0.0063267363	**0.0817199096**
			S	0.0063326219	0.0976249780
			LS	1.0582822756	67.1608743425
		5	AS	0.0079560236	**0.0876914179**
			S	0.0082667014	0.1378606345
			LS	4.7651743960	54.4332181887
		6	AS	0.9050538892	**0.9503759594**
			S	0.9035606251	0.9516961304
			LS	102.8970925007	284.4514452426
		7	AS	0.2976616815	**0.8884400370**
			S	0.3141074663	0.8944250227
			LS	69.9849309853	252.6155788560
60	15	3	AS	0.0187116304	**0.1507052532**
			S	0.0187308867	0.1507271963
			LS	1.4525638370	31.1593754151
		4	AS	0.0066029974	**0.0724881725**
			S	0.0065968586	0.0836897698
			LS	1.4093222710	73.6955054469
		5	AS	0.0071005379	**0.0122985521**
			S	0.0072902285	0.0132467595
			LS	1.3998392085	74.1342091132
		6	AS	0.8461147777	**0.9323195688**
			S	0.8831294696	0.9590888424
			LS	10.9823666611	321.6969664630
		7	AS	0.3362201107	**0.8853430727**
			S	0.3263537607	0.9279441611
			LS	7.5048588677	288.8432945075

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	20	3	AS	0.0195013525	**0.1508132835**
			S	0.0195208867	0.1508258541
			LS	1.7884781751	31.7308526065
		4	AS	0.0063021456	**0.0661311999**
			S	0.0064629922	0.0766506298
			LS	1.3933766720	72.7947253526
		5	AS	0.0069730357	**0.0944445983**
			S	0.0071801943	0.1566098436
			LS	1.6606028835	98.7495872874
		6	AS	0.7999253967	**0.9339915494**
			S	0.8010850215	0.9482264749
			LS	3.3056071530	324.1748678060
		7	AS	0.3145795153	**0.8878622908**
			S	0.3046696725	0.9278917144
			LS	9.9898884480	323.0393316683
60	25	3	AS	0.0189384492	**0.1504385170**
			S	0.0189370725	0.1504500815
			LS	0.7199047648	25.3116269489
		4	AS	0.0065402062	**0.0489371142**
			S	0.0067503857	0.0761325980
			LS	2.1461810807	105.6691081962
		5	AS	0.0083444981	**0.0110796499**
			S	0.0085248586	0.0143192114
			LS	2.3945701325	113.4647622146
		6	AS	1.0611089767	**0.9580977161**
			S	1.0677285828	0.9650240022
			LS	155.1089224473	286.1354774242

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	25	7	AS	0.3145795153	**0.8878622908**
			S	0.3046696725	0.9278917144
			LS	99.8988844806	323.0393316683
60	30	3	AS	0.0197573682	**0.1504424348**
			S	0.0197570658	0.1504444541
			LS	1.6969790984	34.5678723367
		4	AS	0.0064962951	**0.0470147586**
			S	0.0067669861	0.0805379359
			LS	3.2069528841	146.0039037341
		5	AS	0.8853205638	**0.0395941407**
			S	0.8690719209	0.1161173604
			LS	181.0487073786	103.2224438903
		6	AS	1.0610804768	**0.9543727632**
			S	1.0982384596	0.9662268462
			LS	165.2165615196	286.7902413769
		7	AS	0.2933729316	**0.9025702629**
			S	0.3069710504	0.9513737623
			LS	101.3545499663	326.6237424985
100	5	2	AS	0.8490360961	**0.938294883**
			S	0.8729886023	0.939159577
			LS	21.2434497231	75.99650636
		3	AS	0.3222706900	**0.912794570**
			S	0.3192809646	0.920333557
			LS	38.4254027367	121.3403953
		4	AS	0.0031672368	**0.709490800**
			S	0.0031943495	0.752313349
			LS	0.5192534353	18.04863771

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	5	5	AS	0.0079885747	**0.703448771**
			S	0.0079195844	0.714312672
			LS	0.5383146882	21.96269594
		6	AS	0.0059797168	**0.681271455**
			S	0.0060561345	0.683406043
			LS	0.4878810252	12.05746612
		7	AS	0.5340936512	**1.427388042**
			S	0.5388056505	1.431109504
			LS	22.0780132664	113.0230759
100	10	2	AS	0.8726693735	**0.936339239**
			S	0.8915038010	0.936348405
			LS	57.1535341342	92.60590022
		3	AS	0.3362794779	**0.859785454**
			S	0.2988947390	0.913450426
			LS	67.4534939498	231.8670854
		4	AS	0.0027676542	**0.692407927**
			S	0.0029651580	0.746093946
			LS	0.7974670538	78.25219279
		5	AS	0.0076421551	**0.696467763**
			S	0.0075627474	0.698363683
			LS	0.8367288651	82.66797048
		6	AS	0.0047210749	**0.683120937**
			S	0.0037626553	0.710309264
			LS	1.8243265011	91.60413411
		7	AS	0.0037150036	**0.952666981**
			S	0.0039025440	1.009839249
			LS	55.3309363972	254.3690743
100	15	2	AS	0.8560621879	**0.937499295**
			S	0.8790714612	0.938012104
			LS	54.2566322318	108.0640446

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	15	3	AS	0.3397085740	**0.860227599**
			S	0.2973338779	0.91019909
			LS	24.6617629652	112.5804776
		4	AS	0.0027808800	**0.691241148**
			S	0.0028167932	0.747685803
			LS	1.1799305306	96.01603861
		5	AS	0.0039715300	**0.702658478**
			S	0.0041255250	0.705386577
			LS	1.0805023973	121.1937482
		6	AS	0.0048612726	**0.680707885**
			S	0.0043391378	0.682878542
			LS	3.0160276978	99.89662347
		7	AS	0.0036728645	**0.941517284**
			S	0.0041906744	1.027544962
			LS	97.1685269345	273.1529281
100	20	2	AS	0.8570633548	**0.938993798**
			S	0.8724948074	0.939862337
			LS	76.6440583412	115.5084491
		3	AS	0.3499987803	**0.861248879**
			S	0.2951531202	0.914139455
			LS	116.2737428671	270.5565189
		4	AS	0.0027614787	**0.694359073**
			S	0.0028370808	0.735773061
			LS	1.7419437469	145.7819885
		5	AS	0.0100907797	**0.70741868**
			S	0.0068836455	0.787714133
			LS	1.2842910348	137.2080088

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	20	6	AS	0.0051850996	**0.680707885**
			S	0.0044965009	0.682878542
			LS	1.9072814564	127.0102429
		7	AS	0.0033403398	**0.950196544**
			S	0.0034959023	1.062637609
			LS	44.3501251763	249.9423644
100	25	2	AS	0.9662573384	**0.938199391**
			S	0.9589606633	0.939771882
			LS	83.4701986339	118.5971362
		3	AS	0.2971751723	**0.861720307**
			S	0.2255003887	0.903412499
			LS	114.9830672283	271.2212985
		4	AS	0.0030628263	**0.691650137**
			S	0.0035396416	0.810400714
			LS	2.0291776205	154.1564021
		5	AS	0.0106770257	**0.703805538**
			S	0.0112091827	0.711919566
			LS	1.5020355965	167.9160782
		6	AS	0.0046732956	**0.67984375**
			S	0.0042322790	0.683937412
			LS	2.9706403107	174.1793443
		7	AS	0.0035238376	**0.951905203**
			S	0.0036431942	1.070807085
			LS	74.8905847480	333.7654656
100	30	3	AS	0.3024868907	**0.859586887**
			S	0.2359417549	0.905231822
			LS	121.2658132039	265.9086875

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	30	4	AS	0.0032691346	**0.709430339**
			S	0.0035514172	0.81902975
			LS	2.0272861676	192.0325457
		5	AS	0.0108407702	**0.711922147**
			S	0.0112176000	0.715984493
			LS	1.7933920619	192.5240228
		6	AS	0.0038924718	**0.681681948**
			S	0.0030268430	0.706944315
			LS	2.8694367677	214.6197031
		7	AS	0.0035195346	**0.960322845**
			S	0.0035093504	0.970803262
			LS	96.3327146238	354.1922326
200	5	2	AS	1.3307566607	**0.908753521**
			S	1.4058955526	0.922812900
			LS	9.7858623333	12.36694222
		3	AS	0.0036790076	**0.062152689**
			S	0.0035589306	0.062220299
			LS	1.5252772585	20.20095427
		4	AS	0.0028902814	**0.813913103**
			S	0.0029634422	0.814722185
			LS	0.4163190677	50.85725831
		5	AS	0.0017066473	**0.817600377**
			S	0.0018007918	0.831736263
			LS	0.3884732102	14.46640433
		6	AS	0.0031873735	**0.812726769**
			S	0.0035491866	0.818430124
			LS	0.3676715222	26.73708461
		7	AS	1.6205882130	**0.916290235**
			S	2.3152459301	0.934324634
			LS	87.8314413692	160.2577868

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	10	2	AS	1.3261865376	**0.909804822**
			S	1.4020252931	0.919697314
			LS	47.5291596941	86.60927774
		3	AS	0.0067865453	**0.063281409**
			S	0.0060980062	0.063486084
			LS	0.2624444338	3.305873861
		4	AS	0.0031115236	**0.813897141**
			S	0.0031548358	0.814191906
			LS	0.8944084036	87.22762747
		5	AS	0.0024193775	**0.820712835**
			S	0.0024847275	0.839508839
			LS	0.6604732209	82.3144609
		6	AS	0.0028898580	**0.801175412**
			S	0.0029398919	0.810120178
			LS	1.7748300260	89.35724979
		7	AS	2.3707892829	**0.918384853**
			S	1.4201418000	0.922399071
			LS	114.8302468614	127.3729128
200	15	2	AS	1.3389592239	**0.908382485**
			S	1.4145086259	0.922531736
			LS	18.9483039054	28.51464614
		3	AS	0.0019661107	**0.061982371**
			S	0.0020434879	0.062971024
			LS	0.0910122138	8.084327485
		4	AS	0.0013996084	**0.812924349**
			S	0.0013741588	0.815103793
			LS	1.1628414516	115.9897533

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	20	5	AS	0.0012981009	**0.815461985**
			S	0.0013091257	0.817662116
			LS	1.3254226010	80.34897488
		6	AS	0.0028689663	**0.804400991**
			S	0.0028953610	0.813226155
			LS	1.8249767119	136.9851029
		7	AS	1.4057942539	**0.917329949**
			S	1.3349734407	0.921623522
			LS	182.6214047070	293.894776
		2	AS	1.3261865376	**0.909804822**
			S	1.4020252931	0.919697314
			LS	28.0196082190	35.02207321
		3	AS	0.0012084697	**0.062643875**
			S	0.0012728869	0.063160629
			LS	1.2495681317	26.64882772
		4	AS	0.0013126782	**0.815485378**
			S	0.0012984104	0.81616736
			LS	1.3621152351	145.828232
		5	AS	0.0029447237	**0.816886398**
			S	0.0023059700	0.832067721
			LS	1.6074691582	153.0729642
		6	AS	0.0010115242	**0.804944492**
			S	0.0010214418	0.815159534
			LS	2.2487519181	162.8189001
		7	AS	2.1221628677	**0.909394602**
			S	1.7454731668	0.948824984
			LS	184.2346836997	318.4734681

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	25	2	AS	1.3893816241	**0.908103613**
			S	1.4649454388	0.915585913
			LS	25.6433277199	37.37297542
		3	AS	0.0012487287	**0.062180266**
			S	0.0012267462	0.062266854
			LS	1.2281220470	26.04638449
		4	AS	0.0013033911	**0.813154557**
			S	0.0013357614	0.816018428
			LS	1.2281071922	199.1131054
		5	AS	0.0027208639	**0.826822408**
			S	0.0027961425	0.835209600
			LS	1.5739564477	207.6206985
		6	AS	0.0020473455	**0.812880348**
			S	0.0019181511	0.813324046
			LS	2.2047128465	214.9223312
		7	AS	2.3318754142	**0.907053630**
			S	2.6602318012	0.925360277
			LS	247.9334098344	334.8742386
200	30	2	AS	1.4236257844	**0.908067483**
			S	1.4665834143	0.923314663
			LS	22.2570148028	50.85499464
		3	AS	0.0012198465	**0.061891067**
			S	0.0012634316	0.062219019
			LS	1.2033412077	24.94795866
		4	AS	0.0012841609	**0.817484117**
			S	0.0013168483	0.819240757
			LS	1.1132488789	230.819774
		5	AS	0.0024791731	**0.824117586**
			S	0.0027612085	0.849423648
			LS	1.5901394472	235.0585808

ภาคผนวก ง-1 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	30	6	AS	0.0021295522	**0.801900911**
			S	0.0019804804	0.807193515
			LS	2.1915530277	246.7186164
		7	AS	0.3819174759	**0.905411003**
			S	0.4300077454	0.921767693
			LS	238.7706982104	343.4845011

ภาคผนวก ง-2 ค่า *MAPE* และ *RMSE* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงแกมมา

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	5	2	AS	0.2971865019	**4.710913419**
			S	0.3069136233	5.519541990
			LS	0.8334028246	19.86654827
		5	AS	0.4635477116	**14.29129936**
			S	0.4057037304	14.87318742
			LS	3.4260653620	39.39495799
		6	AS	0.3431432868	**14.30692720**
			S	0.3793069340	14.88169763
			LS	3.8234080378	77.49282626
20	10	2	AS	0.2921940719	**15.53080665**
			S	0.2802361995	17.65389893
			LS	61.7724107066	102.6532013
		5	AS	0.4846671458	**14.11716512**
			S	0.5550436897	14.29450284
			LS	4.6021570095	42.62324150
		6	AS	0.0037919875	**1.503848473**
			S	0.0038036065	1.507007315
			LS	7.0728024552	33.64008612
20	15	2	AS	0.2477544717	**4.251842544**
			S	0.2701525287	10.33968423
			LS	60.3891786853	100.4813492
		5	AS	0.4782551288	**13.87889093**
			S	0.8075952745	14.43111122
			LS	37.3412711778	135.1727353
		6	AS	0.3121403773	**13.42264086**
			S	0.3295249403	14.63707337
			LS	45.2563037122	85.18878276
20	20	2	AS	0.1962325315	**14.78294701**
			S	0.1959250567	16.60387558
			LS	51.4802438639	280.5949292

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	20	5	AS	0.4773284308	**14.05995849**
			S	0.4152872623	14.15411887
			LS	40.6643853064	267.9767646
		6	AS	0.2942731924	**11.64722510**
			S	0.3224011284	13.28649357
			LS	26.7538365146	84.35177515
20	25	2	AS	0.2044223707	**13.44636210**
			S	0.1851951341	14.25424366
			LS	50.2352060554	81.13235172
		5	AS	0.3050861330	**13.40246130**
			S	0.3919982801	14.14297285
			LS	43.3227053084	86.03625066
		6	AS	0.3211908887	**12.20640017**
			S	0.3229602699	13.67951921
			LS	28.0811434369	86.31979524
20	30	5	AS	0.3393483539	**14.36537096**
			S	0.4610581119	14.86998271
			LS	45.2579862262	27.70227772
		6	AS	0.3027609320	**11.76291983**
			S	0.3283075116	12.87275907
			LS	35.7965936876	30.43964155
		7	AS	0.3326743111	**15.66978572**
			S	0.3119726172	16.36196185
			LS	76.3113056263	39.01618479
40	5	4	AS	0.4589673354	**14.35143652**
			S	0.2180092112	14.65990715
			LS	2.9941043731	49.03626061

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	5	5	AS	1.2600730997	**14.12755925**
			S	2.1502695895	14.84776192
			LS	12.3847752518	40.10096567
		6	AS	0.5434764706	**13.90494110**
			S	0.4037489314	14.34273006
			LS	50.8127688946	156.2818059
40	10	4	AS	0.4589673354	**14.35143652**
			S	0.2180092112	14.65990715
			LS	34.8396296728	53.13436880
		5	AS	0.6719152142	**14.22745777**
			S	0.6926179087	14.30872395
			LS	26.5843986996	60.76599693
		6	AS	0.5798758745	**13.37371156**
			S	0.4383944235	13.47685778
			LS	11.3423718575	50.09046706
40	15	4	AS	0.1509703249	**14.66596736**
			S	0.1519956082	14.85820454
			LS	22.2126492891	66.86510873
		5	AS	0.7597875879	**14.01116764**
			S	0.7636535632	14.41580165
			LS	46.0346940866	142.4538714
		6	AS	0.5544473327	**13.42541138**
			S	0.5458087124	13.44951833
			LS	45.2549545528	75.15371784
40	20	4	AS	0.1620236086	**14.42973932**
			S	0.1649240070	14.70104690
			LS	21.9347053579	59.93561339

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	20	5	AS	0.7465768643	**14.54418985**
			S	0.8132914461	15.74937655
			LS	55.1299908823	170.4074680
		6	AS	0.5535022574	**13.43050005**
			S	0.5203137349	13.46905875
			LS	12.6487998712	77.77863922
40	25	4	AS	1.7286412265	**14.77962501**
			S	1.8703389537	15.53773163
			LS	23.1812882348	67.65932549
		5	AS	0.7696920610	**14.05012759**
			S	0.7489469349	14.61893829
			LS	53.4853060724	226.1276412
		6	AS	0.5535022574	**13.43050005**
			S	0.5203137349	13.46905875
			LS	12.6487998712	77.77863922
40	30	4	AS	1.6269274700	**14.74932666**
			S	1.7228856359	15.08870870
			LS	26.5142575204	77.67449114
		5	AS	1.6417497408	**11.80393068**
			S	1.6115776948	11.84827127
			LS	27.1461752586	295.8285751
		6	AS	0.5050222813	**13.44738870**
			S	0.5291108948	13.46216951
			LS	12.2133994575	94.53032309
60	10	4	AS	0.0127367260	**6.966215119**
			S	0.0144352661	7.328492815
			LS	0.6062902325	67.29058515
		5	AS	0.0087145819	**13.49137698**
			S	0.0093234138	13.49350257
			LS	0.4592943198	38.27085848

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	10	6	AS	0.5696665380	**17.06694468**
			S	0.5677769643	18.50902976
			LS	47.0000235706	161.3927503
60	15	3	AS	0.0159690284	**7.326204971**
			S	0.0114511574	8.367084034
			LS	1.2318012885	24.03136388
		4	AS	0.0144038790	**7.321516967**
			S	0.0143113925	7.322035005
			LS	0.5433877444	73.83928214
		5	AS	0.0090966037	**6.847469873**
			S	0.0090966037	6.847469873
			LS	0.0093503963	7.253147385
		6	AS	0.5575535279	**17.01820448**
			S	0.5555250286	18.49872131
			LS	32.2757221441	63.89682082
60	20	3	AS	0.0166094069	**7.327531288**
			S	0.0118146654	8.374335311
			LS	1.0198665470	20.88064223
		4	AS	0.0138504995	**7.301673292**
			S	0.0137268138	7.335320378
			LS	0.5138607168	31.42121770
		5	AS	0.0092405188	**6.927901826**
			S	0.0093130410	7.367357915
			LS	0.6947849404	31.20602554
		6	AS	0.0054927126	**5.397443346**
			S	0.0054400942	5.847297067
			LS	0.4898563008	21.74713342

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	25	3	AS	0.0162176023	**7.411016643**
			S	0.0121702806	8.382944804
			LS	0.7651964470	25.29583236
		4	AS	0.0132991852	**7.314462988**
			S	0.0134565670	7.324374195
			LS	8.6053105457	147.6782602
		5	AS	0.0094486569	**6.889944902**
			S	0.0095250422	7.414453734
			LS	13.3480386365	35.83006774
		6	AS	0.6314525958	**17.48908655**
			S	0.4369396866	18.49088154
			LS	48.2868318283	166.1309396
60	30	3	AS	0.0156525968	**7.487017335**
			S	0.0120879329	8.497382353
			LS	19.7955057502	88.04003610
		4	AS	0.0134273196	**7.310857225**
			S	0.0135968656	7.335441808
			LS	8.4037152081	146.0411080
		5	AS	0.0144175283	**7.719461870**
			S	0.0200943849	7.814329560
			LS	1.0655401463	32.61148722
		6	AS	0.3977525174	**17.85578677**
			S	0.4175441700	18.79479247
			LS	1.0918446798	76.70861951

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	5	3	AS	0.4497196937	**11.87974919**
			S	0.4461674996	11.88378026
			LS	9.7661310453	20.37488804
		4	AS	0.0027240073	**9.294289507**
			S	0.0027494629	9.348215215
			LS	6.0315978932	18.07928234
		5	AS	0.0046330459	**9.537842484**
			S	0.0048965138	10.44430658
			LS	11.1345029854	21.94155528
		6	AS	0.0024513230	**8.876295725**
			S	0.0021830047	8.940116060
			LS	0.0061486777	10.45261002
		7	AS	0.0053409365	**4.513797316**
			S	0.0053880565	4.525565612
			LS	0.0228409225	23.99048686
100	10	2	AS	0.0104354761	**4.236622088**
			S	0.0118469414	4.397455007
			LS	0.1729008343	36.60888601
		3	AS	0.0048520838	**3.784929852**
			S	0.0048589538	3.794934106
			LS	0.3335501174	27.65804707
		4	AS	0.0027588653	**9.237305245**
			S	0.0027125313	9.440014110
			LS	0.1667792023	24.74782395
		5	AS	0.0051316621	**9.540273487**
			S	0.0049679179	9.540856448
			LS	0.2697041977	26.15131196

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	10	6	AS	0.0019722927	**8.823589949**
			S	0.0024117502	9.155598385
			LS	0.2260817582	28.92896154
		7	AS	0.0053345340	**4.409162604**
			S	0.0054565585	4.712662396
			LS	3.6292459527	45.16331920
100	15	2	AS	0.9971419810	**4.204008232**
			S	1.0301927019	4.236044796
			LS	16.5128213256	52.87602523
		3	AS	0.4892114325	**3.774303956**
			S	0.4863966151	3.778331127
			LS	14.4140675927	35.49545348
		4	AS	0.0027351305	**9.237305245**
			S	0.0026880318	9.440014110
			LS	18.6451856148	30.35565859
		5	AS	0.0039338140	**9.493392261**
			S	0.0035170996	9.620593155
			LS	3.1327250102	38.31530327
		6	AS	0.0020882155	**8.769141743**
			S	0.0021326486	9.016722780
			LS	2.9088441919	31.55524692
		7	AS	0.0047950744	**4.247099160**
			S	0.0050037263	4.467634552
			LS	3.0703535237	14.50878976
		2	AS	1.0400372897	**4.256272879**
			S	1.2706014668	4.512946923
			LS	23.2013571293	63.30482592

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	25	3	AS	0.0052668104	**3.801731203**
			S	0.0053354520	3.810258980
			LS	19.7085768845	39.09656878
		4	AS	0.0027579515	**2.927547126**
			S	0.0027226354	2.965874720
			LS	28.6859984054	46.08614905
		5	AS	0.0587699763	**2.957716639**
			S	0.0620162417	2.992910596
			LS	5.2761179193	43.37836774
		6	AS	0.0034189681	**2.757299313**
			S	0.0031567849	2.787406500
			LS	7.8549226215	40.16243700
		7	AS	0.4980581133	**4.411235547**
			S	0.4967100351	4.503891804
			LS	44.3501251763	79.03871552
		2	AS	1.1753105934	**13.45015404**
			S	1.3375601504	13.99448210
			LS	23.4193208835	68.78682107
		3	AS	0.2748188748	**11.86320620**
			S	0.2797242061	11.96741521
			LS	21.6297788627	50.45848243
		4	AS	0.0027837658	**0.926790777**
			S	0.0027344586	0.934690593
			LS	27.3497787036	48.74666836
		5	AS	0.0579401757	**9.026560203**
			S	0.0584881955	9.320551624
			LS	1.7254843283	11.68246120
		6	AS	0.0018102289	**2.813177835**
			S	0.0018539405	2.814967651
			LS	0.7124189978	17.41314669

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	25	7	AS	0.4945647564	**14.12952155**
			S	0.5056230001	14.33288962
			LS	0.4795837760	28.87888942
100	30	2	AS	1.1598307714	**13.43763914**
			S	1.1745483305	13.57574183
			LS	27.4730171926	29.42527714
		3	AS	0.2822473676	**11.98393784**
			S	0.2870456962	12.00043443
			LS	24.4402317444	59.43805888
		4	AS	0.0026982143	**9.242972216**
			S	0.0026958229	9.410696198
			LS	0.3052617497	19.20449996
		5	AS	0.0005565704	**0.883092323**
			S	0.0005915456	0.932839875
			LS	0.0142783495	19.26069981
		6	AS	0.0019078876	**2.812643822**
			S	0.0018177940	2.918525250
			LS	0.8696809926	67.86837307
		7	AS	0.0049875894	**1.417027414**
			S	0.0051864596	1.500080723
			LS	0.4619202707	32.05345644

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	5	2	AS	2.4556322885	5.446367439
			S	2.4658041198	5.435802129
			LS	16.1100996205	39.13477961
		3	AS	0.0023270894	**5.141848142**
			S	0.0027455726	5.149468997
			LS	9.7013470316	12.87517438
		4	AS	0.0019037062	**4.363671004**
			S	0.0027310893	4.477095647
			LS	6.4267884520	16.10329871
		5	AS	0.0037860066	**4.325300055**
			S	0.0037636079	4.374630418
			LS	1.6317538704	14.57035171
		6	AS	0.0087905756	**4.327546943**
			S	0.0081376749	4.491710953
			LS	3.5129002298	26.83310106
		7	AS	2.2481772928	**17.05668976**
			S	1.6970844419	17.34994544
			LS	8.8588025559	39.75577951
200	10	2	AS	2.4689450975	**1.719237677**
			S	2.6006667712	1.755752836
			LS	4.3268088288	34.85354297
		3	AS	0.0029917913	**1.599700362**
			S	0.00292811103	1.601981919
			LS	7.3671673232	54.14108521
		4	AS	0.0017063378	**1.371447413**
			S	0.0024135554	1.394261865
			LS	0.0760059027	27.59017547

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	10	5	AS	0.0034779399	**1.375340349**
			S	0.0035575431	1.404337462
			LS	0.0580737626	65.44446807
		6	AS	0.0077293840	**1.365543394**
			S	0.0079826980	1.369363793
			LS	1.2809613537	28.26779899
		7	AS	1.7198643551	**1.685074705**
			S	1.5633623677	1.724433237
			LS	13.3524855278	40.31010320
200	15	2	AS	2.4898321487	**5.437401803**
			S	2.6290972419	5.552177284
			LS	30.5917182404	50.75799268
		3	AS	0.0025451393	**1.596990007**
			S	0.0026232957	1.629839821
			LS	0.0918638999	8.111279444
		4	AS	0.0018605162	**1.356067478**
			S	0.0019121878	1.405399446
			LS	0.0882152979	36.68927830
		5	AS	0.0604549724	**1.341685663**
			S	0.0664621687	1.376128878
			LS	1.8942718833	38.39626324
		6	AS	0.0074149517	**1.382258403**
			S	0.0073750658	1.391548934
			LS	0.2106598178	13.71197535
		7	AS	1.8823938403	**1.689196572**
			S	2.1318110833	1.703231802
			LS	1.7493890453	53.16762727

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	20	2	AS	0.0250837010	**1.717801063**
			S	0.0250010744	1.721480359
			LS	0.3136076659	16.02654238
		3	AS	0.0020472339	**0.504786691**
			S	0.0020819259	0.520131254
			LS	0.1119652303	9.874788461
		4	AS	0.0016904843	**1.357314125**
			S	0.0017376685	1.402136736
			LS	0.1230825169	14.59315905
		5	AS	0.0486128087	**4.168686999**
			S	0.0633382609	4.330950040
			LS	3.7713480947	48.47609570
		6	AS	0.0021148330	**1.372376897**
			S	0.0019910662	1.377928134
			LS	0.1338017802	16.30205274
		7	AS	0.0230139570	**1.702205913**
			S	0.0159804253	1.727986280
			LS	1.4728992560	60.52239779
200	25	2	AS	0.0245362589	**1.719192474**
			S	0.0256564474	1.753181356
			LS	4.3447484336	82.18122637
		3	AS	0.0019718967	**1.589162086**
			S	0.0020493031	1.627609825
			LS	0.1110050797	9.912077090
		4	AS	0.0024050732	**1.368017792**
			S	0.0024119428	1.384006731
			LS	0.1884195166	15.01102430

ภาคผนวก ง-2 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	25	5	AS	0.0018107478	**1.354764752**
			S	0.0018095164	1.387284752
			LS	0.1171376343	15.31022575
		6	AS	0.0053112528	**1.368801148**
			S	0.0044437538	1.378008718
			LS	0.3311308711	19.44088716
		7	AS	0.0277663755	**1.682849636**
			S	0.0175532031	1.752415990
			LS	0.2158188404	21.94432846
	30	2	AS	0.0245582712	**1.717003751**
			S	0.0245351724	1.719654726
			LS	0.3247653426	16.09439466
		3	AS	0.0205106120	**1.597229877**
			S	0.0199379635	1.600266351
			LS	0.1543551177	13.11004064
		4	AS	0.0171039012	**1.393918725**
			S	0.0175220303	1.442334136
			LS	0.1810794958	21.71142255
		5	AS	0.0267986605	**1.336996590**
			S	0.0641657630	1.389982493
			LS	0.3372086532	21.22687706
		6	AS	0.0447687147	**1.354151432**
			S	0.0527320304	1.388391222
			LS	0.3300975996	22.18863002
		7	AS	0.0140059357	**0.542352442**
			S	0.0126289610	0.550809891
			LS	1.0134582303	24.24204602

ภาคผนวก ง-3 ค่า *MAPE* และ *RMSE* จากความคลาดเคลื่อนที่แจกแจงไวบูล

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	10	5	AS	0.2117088319	**19.31887363**
			S	0.2096370824	19.35901977
			LS	3.2373557287	134.3303907
		6	AS	0.0803800153	**16.46231281**
			S	0.0846169646	17.70889824
			LS	7.1231059194	77.07248695
		7	AS	0.2723206745	**19.25270043**
			S	0.3186516767	19.27820952
			LS	17.4185914666	35.17031630
20	15	5	AS	0.3752845172	**18.86934159**
			S	0.3765721741	18.98738776
			LS	12.0289539801	76.56389038
		6	AS	0.5319068684	**16.20520888**
			S	0.6972612882	17.70458669
			LS	17.3574578336	57.87365479
		7	AS	0.3057408977	**18.72258418**
			S	0.3141497997	19.20111433
			LS	18.0893128770	93.58203681
20	20	5	AS	0.2382400821	**18.51757352**
			S	0.1870506620	25.65731284
			LS	11.3598452251	84.77309677
		6	AS	5.2262741554	**16.70570153**
			S	5.3416626950	17.66299799
			LS	18.1980092513	136.4015064
		7	AS	0.2474171769	**18.82246357**
			S	0.2649510370	19.12778475
			LS	17.7361118788	29.54364700

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
20	25	3	AS	0.7300738896	**20.16913172**
			S	0.7537202283	20.36065526
			LS	16.5289030897	65.79580647
		4	AS	0.0802750925	**6.355742402**
			S	0.0902479063	6.959934647
			LS	14.3138781774	31.92010223
		5	AS	0.1916513046	**18.05849143**
			S	0.2490273524	19.43067133
			LS	14.5071823910	86.07358425
20	30	3	AS	0.7300738896	**17.47752982**
			S	0.7537202283	18.04039158
			LS	16.5289030897	248.4934173
		4	AS	0.0802750925	**20.09862221**
			S	0.0902479063	22.00924585
			LS	14.3138781774	105.8102752
		5	AS	0.1916513046	**16.79864019**
			S	0.2490273524	22.75019274
			LS	14.5071823910	277.1078511
		6	AS	4.8406453252	**13.92259674**
			S	4.7987302683	14.84591936
			LS	13.7437776376	176.2799971
40	5	2	AS	0.1665437761	**11.16436037**
			S	0.1715503329	11.16979893
			LS	2.8640407784	29.80708491
		4	AS	0.1274397592	**11.29285875**
			S	0.0865976550	11.40768237
			LS	20.6739212618	73.97756444
		5	AS	3.6738507306	**32.48213150**
			S	3.6339006699	33.72898417
			LS	12.5077298012	39.94399725

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	5	6	AS	4.4882670206	**34.82409338**
			S	5.2711224826	37.69293284
			LS	21.7619046628	68.94037206
40	10	2	AS	1.6924853074	**35.53196054**
			S	1.7559819727	35.61591800
			LS	17.9686593960	81.70732316
		3	AS	1.6380149684	**35.88768587**
			S	1.4928629967	37.51487074
			LS	16.6345431835	74.56172853
		4	AS	0.4534583690	**11.25138374**
			S	0.4849901761	11.45128063
			LS	13.6773475420	41.17091499
		5	AS	2.8257254613	**33.15008371**
			S	4.4946187676	35.24089312
			LS	82.3038525286	148.0776144
		6	AS	0.6557437572	**11.30239551**
			S	0.5914161125	12.01749018
			LS	13.7737629941	50.1357784
40	15	3	AS	0.1852758934	**12.11064118**
			S	0.1627875732	12.76646239
			LS	29.6357784535	114.0704627
		4	AS	0.4767541386	**11.50345653**
			S	0.4443776369	12.07397975
			LS	14.7273959760	123.8042964
		5	AS	0.1223830558	**10.27312346**
			S	0.1180998265	10.57845363
			LS	20.6022039055	90.71096266

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	15	6	AS	0.6136602376	**12.08367062**
			S	0.6391148711	12.09836276
			LS	48.0367807921	75.19292605
		7	AS	1.4333291519	**35.06992404**
			S	1.3785450794	35.36691738
			LS	91.3575319187	243.5725851
40	20	3	AS	0.1882643565	**11.78885189**
			S	0.1596305024	12.52357677
			LS	75.1904893853	184.9358558
		4	AS	0.5083273436	**34.92069352**
			S	0.5082279043	35.75133438
			LS	21.9455894111	59.96698688
		5	AS	0.1247673851	**10.32337414**
			S	0.1307936499	10.46664628
			LS	32.0902687594	186.6989203
		6	AS	0.6017092519	**37.99911449**
			S	0.6084952682	38.28026715
			LS	15.1804627780	77.79152893
		7	AS	0.1667681888	**11.27220880**
			S	0.0015406103	11.48115475
			LS	82.9203581164	249.5175998
40	25	2	AS	0.1772143242	**11.21212841**
			S	0.1854149472	11.23150645
			LS	18.0811094367	82.84830418
		3	AS	0.2072742161	**11.81927742**
			S	0.1828099916	12.50989948
			LS	84.7832237157	256.5354937
		4	AS	0.4928711156	**34.81688613**
			S	0.5182119306	36.49559613
			LS	23.2347558795	214.0449073

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
40	25	5	AS	0.1226075479	**33.17774039**
			S	0.1321111730	35.41254036
			LS	38.1135657352	233.6718866
		6	AS	0.7412920378	**36.78625237**
			S	0.5329059938	37.68310414
			LS	14.4194137034	94.54901553
40	30	4	AS	0.5231484272	**35.71311552**
			S	0.5318278653	37.99811312
			LS	26.5203565512	77.68896563
		5	AS	0.9271903114	**32.82709005**
			S	1.0120874235	33.42574267
			LS	38.6621112088	289.6741240
		6	AS	0.7108829533	**37.18879596**
			S	0.6287239876	38.21915755
			LS	13.3754369344	99.73252935
		7	AS	1.3120001567	**35.95756426**
			S	1.4414457907	36.70303583
			LS	11.7252065444	112.9777258
60	5	3	AS	0.0080090216	**0.606331836**
			S	0.0082673183	0.620720776
			LS	0.2698546343	4.771105337
		4	AS	0.0025590268	**0.785928559**
			S	0.0025276271	0.794338793
			LS	0.1027226495	4.058486171
		5	AS	0.0029296791	**0.733112605**
			S	0.0027764200	0.766132353
			LS	0.3176424528	12.18704058

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	5	6	AS	0.2257458090	**4.321560952**
			S	0.1950672849	4.665782678
			LS	33.0966478880	42.42616314
60	10	3	AS	0.0080900923	**0.605713635**
			S	0.0083718580	0.629750825
			LS	0.4038569732	12.16731053
		4	AS	0.0022962091	**0.235755462**
			S	0.0024586312	0.244884997
			LS	0.6234686635	21.24297092
		5	AS	0.0030730905	**0.236368380**
			S	0.0034697404	0.236778427
			LS	0.4719778907	17.20383217
		6	AS	0.0028574584	**0.438013957**
			S	0.0027388783	0.454852954
			LS	0.2708112688	22.02493980
		7	AS	0.0024407502	**0.454416893**
			S	0.0025445553	0.468162283
			LS	6.1705939436	17.32857697
		3	AS	0.0080883880	**0.191216695**
			S	0.0084087692	0.198830947
			LS	1.0266858176	20.22177881
		4	AS	0.0024931555	**0.748070309**
			S	0.0023334580	0.784226497
			LS	5.5817013364	23.31860681
		5	AS	0.0032421275	**0.741161525**
			S	0.0030091729	0.759470981
			LS	6.2817756861	23.43454683

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	15	6	AS	0.2322540657	**4.520568178**
			S	0.2548994038	4.602564323
			LS	3.2898911074	20.21516880
		7	AS	0.2689863521	**4.727967470**
			S	0.2657631671	4.767403332
			LS	6.2855106682	22.27346631
60	20	2	AS	0.4131954909	**4.627792980**
			S	0.4292095292	4.661462989
			LS	2.4104532962	24.19516735
		3	AS	0.0084470413	**1.916391305**
			S	0.0085566119	1.969386521
			LS	1.0310459598	20.88916973
		4	AS	0.0022884470	**0.758402818**
			S	0.0021867749	0.771142737
			LS	0.5286629692	31.42081095
		5	AS	0.0032400790	**0.753277799**
			S	0.0030369112	0.756302411
			LS	0.6980728186	31.22354438
60	25	2	AS	0.4033135323	**0.459682665**
			S	0.3976225151	0.464201342
			LS	0.3355363634	29.27324490
		3	AS	0.0084871183	**0.190867859**
			S	0.0085986464	0.196616942
			LS	0.7711137819	25.30366225
		4	AS	0.0023418778	**0.756120750**
			S	0.0022870279	0.767086516
			LS	0.6090636501	30.76807909
		5	AS	0.0038481400	**0.732279748**
			S	0.0046617366	0.736776363
			LS	1.3390541827	35.85874057

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
60	25	6	AS	0.2387849998	**4.458154922**
			S	0.2322616376	4.611990450
			LS	5.7556755999	22.63164549
60	30	2	AS	0.3870493975	**0.457537001**
			S	0.3791417912	0.463678524
			LS	4.1493168350	34.23640812
		3	AS	0.0087025794	**0.190361469**
			S	0.0088316731	0.196056527
			LS	0.5982369294	27.82252385
		4	AS	0.0024123384	**0.236155356**
			S	0.0023356428	0.243426588
			LS	0.8777207999	46.19897771
		5	AS	0.0194727044	**0.749950591**
			S	0.0212559699	0.750223232
			LS	2.9032162794	37.22178652
		6	AS	0.2454938480	**0.447937807**
			S	0.2376939294	0.455252624
			LS	11.2772205896	31.25254528

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	5	2	AS	0.7719815882	**4.4720157**
			S	0.7774501481	4.5929974
			LS	7.7510780691	22.975257
		3	AS	0.2921270319	**0.4107800**
			S	0.2897111579	0.4046464
			LS	9.8684454373	20.244009
		4	AS	0.0011576013	**0.3475492**
			S	0.0011444878	0.3497742
			LS	6.0977194336	18.104557
		5	AS	0.0020175882	**0.3311854**
			S	0.0020041344	0.3339312
			LS	0.1124702850	21.928249
100	10	2	AS	0.7782867065	**0.4415525**
			S	0.7788111747	0.4492809
			LS	1.9288704553	11.565982
		3	AS	0.3229613092	**0.4108675**
			S	0.3232910743	0.4164038
			LS	3.1436717279	27.699200
		4	AS	0.0011208779	**0.3361248**
			S	0.0011404419	0.3369807
			LS	0.1666846290	24.762185
		5	AS	0.0016681363	**0.3384424**
			S	0.0016277908	0.3430456
			LS	0.2725646688	26.160089

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	10	6	AS	0.0017343208	**0.3356166**
			S	0.0015805870	0.3409973
			LS	0.2271237359	28.964061
		7	AS	0.1804416097	**4.4248227**
			S	0.1786697092	4.4953211
			LS	0.2384785065	27.561496
100	15	3	AS	0.3267700302	**0.4051515**
			S	0.3250000980	0.4162295
			LS	2.2874273720	35.514393
		4	AS	0.0011078251	**0.3337480**
			S	0.0011042267	0.3411687
			LS	1.8556621420	30.376341
		5	AS	0.0016319423	**0.3504520**
			S	0.0015532148	0.3563645
			LS	0.3128184371	38.338196
		6	AS	0.0014019746	**0.3478230**
			S	0.0018702088	0.3390058
			LS	0.1584424856	24.973678
		7	AS	0.1704021277	**0.4449494**
			S	0.1988891076	0.4526586
			LS	0.4884822803	21.599386
100	20	3	AS	0.3296193522	**0.4058159**
			S	0.3273633032	0.4118891
			LS	1.8856896069	12.364582
		4	AS	0.0011208151	**0.3362550**
			S	0.0011200850	0.3431686
			LS	0.2878760517	14.581085

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	20	5	AS	0.0144264738	**0.3350972**
			S	0.0130441973	0.3381511
			LS	0.5267920003	43.396131
		6	AS	0.0019118794	**0.3360749**
			S	0.0016603621	0.3402874
			LS	0.5683918937	45.485922
		7	AS	0.1757276487	**0.4487559**
			S	0.1757067680	0.4491292
			LS	0.4477994641	79.024818
100	25	2	AS	0.8433269038	**4.4705280**
			S	0.8612960872	4.5026232
			LS	2.8402996316	21.045544
		3	AS	0.1888380460	**4.0722045**
			S	0.1924396670	4.0809192
			LS	2.1508833776	15.959282
		4	AS	0.0000114029	**0.3334472**
			S	0.0000117331	0.3379900
			LS	0.0027566062	15.420893
		5	AS	0.0144148024	**0.3363959**
			S	0.0145353718	0.3513847
			LS	0.8848205568	16.795881
		6	AS	0.0021465172	**0.3359123**
			S	0.0018982229	0.3366358
			LS	0.7202296087	17.420079
100	30	2	AS	0.8433269038	**4.4705280**
			S	0.8612960872	4.5026232
			LS	2.8938940685	29.438403

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
100	30	3	AS	0.1909940301	**0.4045226**
			S	0.1920097250	0.4060968
			LS	2.4229558016	18.798258
		4	AS	0.0011213811	**0.3343222**
			S	0.0011215432	0.3349403
			LS	0.3074991445	19.209511
		5	AS	0.0151561511	**0.3388011**
			S	0.0138848374	0.3546084
			LS	1.4351658823	20.602262
		6	AS	0.0020376322	**0.3349501**
			S	0.0017357616	0.3401157
			LS	8.0991647163	18.7663080
200	5	3	AS	0.0013744613	**0.03793900**
			S	0.0014430950	0.03884235
			LS	0.1043194664	4.07231234
		4	AS	0.0018134289	**0.40308444**
			S	0.0017847050	0.41849526
			LS	0.0575850457	16.0903269
		5	AS	0.0013845565	**0.41067739**
			S	0.0013871281	0.41729356
			LS	0.0160459685	14.4527645
		6	AS	0.0011329962	**0.40835043**
			S	0.0011068961	0.42734385
			LS	0.0353416471	26.6793439
		7	AS	0.0054595768	**0.48079648**
			S	0.0051012423	0.52221102
			LS	0.2254685604	39.7132157

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	10	3	AS	0.0013777868	**0.037675931**
			S	0.0014868788	0.038330396
			LS	0.0755737959	5.424927703
		4	AS	0.0018767444	**0.411554918**
			S	0.0019260627	0.425684021
			LS	0.0738492579	27.58863885
		5	AS	0.0073618369	**0.405677413**
			S	0.0078150909	0.413430818
			LS	0.1216363448	26.03157329
		6	AS	0.0010423172	**0.421272306**
			S	0.0010254948	0.424366797
			LS	0.1218675137	28.25012816
200	15	2	AS	0.6527976673	**0.474434944**
			S	0.6280770788	0.481478533
			LS	2.4231764737	15.99568641
		3	AS	0.0010425422	**0.037189861**
			S	0.0011454468	0.038855340
			LS	0.0009125189	8.107492070
		4	AS	0.0007566524	**0.400942010**
			S	0.0007574288	0.406432774
			LS	0.0886951999	11.60075888
		5	AS	0.0004995189	**0.402298118**
			S	0.0005173196	0.406890464
			LS	0.0799711146	25.43446538
		6	AS	0.0009459692	**0.407686080**
			S	0.0009771312	0.416941131
			LS	0.2051638385	13.70084099

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	20	5	AS	0.0078805765	**0.410886429**
			S	0.0073683772	0.416106574
			LS	0.6507944479	15.31339688
		6	AS	0.0004925062	**0.410695601**
			S	0.0004901250	0.419654343
			LS	0.1341556018	16.28701955
		7	AS	0.5489166197	**0.500030845**
			S	0.5004640922	0.507516781
			LS	4.5923219362	19.12317272
200	25	3	AS	0.0008516423	**0.037660497**
			S	0.0009012937	0.038130574
			LS	0.1395334633	13.519876500
		4	AS	0.1708565615	**0.400328114**
			S	0.2044522298	0.413004680
			LS	4.124959760	18.46786087
		5	AS	0.0007764070	**0.409450314**
			S	0.0008216460	0.416483625
			LS	0.1579943219	18.68826915
		6	AS	0.0076394388	**0.413062577**
			S	0.0078642712	0.423128475
			LS	0.7041474710	19.42328780
		7	AS	0.0010592556	**0.481896267**
			S	0.0009388462	0.553106834
			LS	0.3139028383	21.92689119
200	30	3	AS	0.0008501104	**0.037621262**
			S	0.0009348012	0.038703157
			LS	1.5324221122	41.41370679
		4	AS	0.0007716095	**0.402949359**
			S	0.0008453682	0.417759586
			LS	1.8119235022	68.63463158

ภาคผนวก ง-3 (ต่อ)

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์	จำนวนพารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่า	ค่าสถิติ	
				MAPE	*RMSE*
200	30	5	AS	0.0073153811	**0.407644971**
			S	0.0077776079	0.445487082
			LS	6.3620865000	67.08605962
		6	AS	0.0010418068	**0.416546128**
			S	0.0010488292	0.420738537
			LS	18.0533834928	42.756267000
		7	AS	0.1708565615	**1.458946587**
			S	0.2044522298	1.515742432
			LS	41.2495976058	76.020086600

ภาคผนวก จ

ค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ภาคผนวก จ-1 ค่าสถิติ ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ

ค่าสถิติภายหลังตัดตัวแปรจำนวนแรงงานในประเทศญี่ปุ่น ประเทศมาเลเซีย ประเทศอิสราเอล และประเทศอื่น ๆ ออกจากระบบ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
INCOME	7.3744E3	2266.45845	156
TAIWAN	3.7964E3	1174.32013	156
SINGAPORE	9.7026E2	355.73707	156

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	SINGAPORE, TAIWAN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: INCOME

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.807E8	2	1.904E8	70.105	.000[a]
	Residual	4.155E8	153	2715489.028		
	Total	7.962E8	155			

a. Predictors: (Constant), SINGAPORE, TAIWAN

b. Dependent Variable: INCOME

Model		Unstandardized Coefficients		t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error			Tolerance	VIF
1	(Constant)	13204.412	512.860	25.747	.000		
	TAIWAN	-1.063	.118	-9.044	.000	.920	1.087
	SINGAPORE	-1.850	.388	-4.768	.000	.920	1.087

a. Dependent Variable: INCOME

Residuals Statistics[a]

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-1353.44	8897.73	5997.60	2004.108	272
Residual	-3.614E3	4108.273	.000	1748.085	272
Std. Predicted Value	-3.668	1.447	.000	1.000	272
Std. Residual	-2.056	2.337	.000	.994	272

a. Dependent Variable: INCOME

การทดสอบการแจกแจงปรกติของค่าส่วนเหลือ

	Kolmogorov-Smirnov[a]		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	.075	156	.030

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
156	0	0.0000000	1637.21	169.805	-4610.72	3294.52	-0.277123	-0.264625

Goodness of Fit Test

Distribution		P
3-Parameter Weibull	0.344	0.410

ภาคผนวก ฉ

ค่านอกเกณฑ์ ค่าสถิติสำหรับตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

ภาคผนวก ฉ-1 ค่านอกเกณฑ์ ค่าสถิติสำหรับตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
1	2483	372	11221	1343.939641	3.276456216	0.194324059	0.006458852	0.021138427	0	38.07261848	38.07261848	1
2	3045	353	9968	653.1644015	3.034668608	0.219295684	0.001434608	0.019578507	0	17.42786383	17.42786383	1
3	2896	276	10368	752.3606976	3.858497584	0.145257276	0.002317953	0.024893533	0	24.31282421	24.31282421	1
4	2984	295	10248	761.0431056	3.628947806	0.162923599	0.002252661	0.023412566	0	23.39413284	23.39413284	1
5	3936	415	9545	1291.919785	2.778478378	0.249264876	0.005237801	0.017925667	0	32.22426821	32.22426821	1
6	2796	368	8991	-560.760764	3.016921742	0.221250249	0.001052505	0.019464011	0	-14.8946626	14.89466259	1
7	3566	510	9903	1432.3552	1.705470572	0.426247427	0.004542253	0.011003036	0	25.38403956	25.38403956	1
8	2668	654	8698	-460.803533	1.337034737	0.512467816	4.04E-04	0.008626031	0	-7.03454764	7.034547638	1
9	2883	827	8694	83.72455072	0.64120776	0.725710663	9.27E-06	0.004136824	0	0.892462464	0.892462464	1
10	2840	552	10005	840.3522335	1.634342747	0.441679235	0.001520858	0.010544147	0	14.49339747	14.49339747	1
11	2682	707	8484	-561.888616	1.142021391	0.564954153	5.49E-04	0.00736788	0	-7.84993544	7.849935444	1
12	2248	514	8456	-1408.19317	2.637115634	0.267520838	0.005978638	0.017013649	0	-33.776563	33.776563	1
13	2273	515	8544	-1291.77012	2.587801863	0.274199062	0.004959366	0.016695496	0	-30.5532769	30.55327693	1
14	2914	447	8475	-805.208628	2.285417236	0.318953926	0.001757237	0.014744627	0	-17.4022372	17.40223721	1
15	2464	394	8425	-1431.56281	3.120556168	0.210077644	0.007046377	0.02013262	0	-39.0338666	39.03386661	1
16	3371	398	8414	-471.082801	2.597242198	0.272907847	6.61E-04	0.016756401	0	-11.1722374	11.17223739	1
17	2891	549	8364	-751.987212	1.608564142	0.447409019	0.001205476	0.010377833	0	-12.8399876	12.83998755	1
18	2560	433	7858	-1824.38303	2.705696379	0.258502946	0.010233646	0.017456106	0	-44.6059682	44.60596821	1
19	3989	539	8100	132.6174843	1.749557219	0.416954319	3.96E-05	0.011287466	0	2.389312808	2.389312808	1
20	3050	897	8181	-122.286797	0.404769475	0.816780621	1.69E-05	0.002611416	0	-1.11327502	1.113275022	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
21	3255	1054	8035	240.0168241	0.358253009	0.836000135	6.28E-05	0.00231131	0	2.11174029	2.11174029	1
22	2466	652	8318	-1059.21561	1.641417869	0.440119528	0.00242294	0.010589793	0	-18.3181265	18.31812648	1
23	2890	678	8746	-132.439479	0.991002649	0.609265391	2.83E-05	0.006393565	0	-1.71772495	1.717724951	1
24	2615	709	9020	-93.4058105	1.231762711	0.540164608	1.58E-05	0.007946856	0	-1.36057162	1.36057162	1
25	2943	502	9249	101.3496917	1.868794257	0.392822616	2.42E-05	0.012056737	0	1.906837661	1.906837661	1
26	3228	493	9372	510.6386558	1.811649243	0.404208429	6.01E-04	0.01168806	0	9.412041886	9.412041886	1
27	3025	432	9459	269.0316318	2.346060504	0.309427875	2.00E-04	0.015135874	0	5.924235023	5.924235023	1
28	3494	428	9452	753.1489468	2.356563572	0.307807163	0.001572189	0.015203636	0	16.63809425	16.63809425	1
29	3102	576	9489	647.2336513	1.311951581	0.518935443	7.88E-04	0.008464204	0	9.772613511	9.772613511	1
30	3023	559	9567	609.8170404	1.455713727	0.482942894	7.45E-04	0.009391701	0	9.791020478	9.791020478	1
31	3602	730	9773	1747.553748	0.456853627	0.795784536	0.003574597	0.002947443	0	16.50755499	16.50755499	1
32	3224	964	10120	2125.593308	0.253418399	0.880989828	0.004534662	0.001634957	0	17.23954852	17.23954852	1
33	3428	1083	10092	2534.545582	0.277494586	0.870447969	0.006573942	0.001790288	0	20.95650749	20.95650749	1
34	2999	698	10109	1383.41424	0.818064951	0.664292659	0.002811194	0.005277838	0	16.36070222	16.36070222	1
35	2549	914	10391	1586.628033	1.15059115	0.562538572	0.004395518	0.007423169	0	22.25638208	22.25638208	1
36	2488	812	10393	1335.120153	1.25963856	0.53268806	0.003275399	0.0081267	0	19.69488771	19.69488771	1
37	2769	704	10019	1060.037566	1.037978949	0.59512163	0.001856234	0.006696638	0	14.07832397	14.07832397	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
38	2978	631	9777	905.1630524	1.107536004	0.574779953	0.001401069	0.007145394	0	12.43868802	12.43868802	1
39	2714	560	9731	447.220097	1.715001087	0.424221081	4.44E-04	0.011064523	0	7.954068193	7.954068193	1
40	3234	612	9717	1082.129977	1.054992741	0.590080465	0.001951047	0.006806405	0	14.49370364	14.49370364	1
41	2889	628	9905	933.0128318	1.197669234	0.549451585	0.0015543	0.007726898	0	13.37929185	13.37929185	1
42	4068	931	9783	2624.669755	0.087097614	0.957385826	0.005978959	5.62E-04	0	18.42814508	18.42814508	1
43	3526	940	10235	2517.206726	0.053465919	0.973621203	0.005325911	3.45E-04	0	17.11987755	17.11987755	1
44	3155	1325	9602	2201.990784	1.741130988	0.418714702	0.010881897	0.011233103	0	39.54827966	39.54827966	1
45	3196	1352	9354	2047.51285	1.874290079	0.391744656	0.009884046	0.012092194	0	38.59816573	38.59816573	1
46	2050	1030	9563	442.788545	2.5892694	0.273997937	5.83E-04	0.016704964	0	10.4773408	10.4773408	1
47	3353	1033	9317	1587.340769	0.229891401	0.891414546	0.00248039	0.00148317	0	12.62924611	12.62924611	1
48	699	982	9220	-1425.0208	7.619073414	0.022158442	0.015528705	0.049155312	1	-83.84075	83.84074997	1
49	2145	915	9370	138.0523492	2.041916192	0.360249621	4.77E-05	0.013173653	0	2.757609454	2.757609454	1
50	2880	747	9421	659.5601409	0.788705192	0.674116324	6.28E-04	0.005088421	0	7.672290211	7.672290211	1
51	3087	694	9476	836.5536608	0.763509686	0.682662392	9.96E-04	0.004925869	0	9.592013429	9.592013429	1
52	3063	679	9636	943.2978158	0.837949948	0.657720655	0.001321715	0.005406129	0	11.27965501	11.27965501	1
53	3204	877	9825	1648.411153	0.269980305	0.873724516	0.002764008	0.001741808	0	13.54840204	13.54840204	1
54	3203	797	9958	1632.372612	0.383951516	0.825326876	0.002959349	0.002477107	0	14.63757736	14.63757736	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
55	3728	957	10053	2581.364232	0.003865728	0.998069003	0.005332105	2.49E-05	0	16.71917749	16.71917749	1
56	3879	1346	9876	3284.398673	1.172619342	0.556376714	0.019034248	0.007565286	0	46.55184043	46.55184043	1
57	3688	1538	9734	3294.519717	2.869408345	0.238185815	0.034924444	0.018512312	0	84.20653585	84.20653585	1
58	3335	940	9759	1838.186312	0.155159458	0.925353244	0.003120072	0.001001029	0	13.72504317	13.72504317	1
59	3565	1221	9705	2548.425477	0.667983027	0.716059859	0.008732199	0.004309568	0	27.61469814	27.61469814	1
60	3351	1153	9906	2396.178312	0.563394734	0.754501987	0.007224215	0.003634805	0	24.31399322	24.31399322	1
61	2765	779	9358	533.5129618	0.862167143	0.649804603	4.29E-04	0.005562369	0	6.464953125	6.464953125	1
62	3346	834	9174	1068.810907	0.228978055	0.891821724	0.001123704	0.001477278	0	8.497305355	8.497305355	1
63	3649	651	9115	993.3857389	0.8234191	0.662516676	0.001453899	0.005312381	0	11.78323167	11.78323167	1
64	4121	616	8890	1205.351308	1.330807769	0.514065863	0.002756518	0.008585857	0	18.35077469	18.35077469	1
65	4858	701	8829	2084.957827	1.932823798	0.380445669	0.010466104	0.012469831	0	40.12168688	40.12168688	1
66	4213	798	8708	1457.785753	0.497540875	0.779758956	0.002558577	0.003209941	0	14.16041288	14.16041288	1
67	5409	810	8705	2748.251284	2.651860203	0.26555585	0.022868382	0.017108776	0	66.19300505	66.19300505	1
68	3953	1181	8854	2035.856106	0.352249119	0.838513532	0.004495324	0.002272575	0	17.83182601	17.83182601	1
69	4268	1533	8825	2992.773023	2.504794354	0.285818817	0.025974244	0.016159964	0	69.10731274	69.10731274	1
70	3698	1032	8980	1615.203341	0.049358251	0.975622914	0.002184139	3.18E-04	0	10.94183776	10.94183776	1
71	4289	1278	9106	2824.42239	0.781433022	0.676571929	0.011475364	0.005041503	0	32.71930029	32.71930029	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
72	3270	1248	9079	1658.801684	1.096886272	0.577848742	0.004680879	0.007076686	0	22.67801929	22.67801929	1
73	2829	911	8827	314.7004969	0.683560626	0.710504276	1.34E-04	0.004410069	0	3.442409635	3.442409635	1
74	3666	829	8602	827.7013454	0.157675413	0.924189902	6.34E-04	0.001017261	0	6.193770266	6.193770266	1
75	3609	609	8394	152.1811808	1.049100879	0.591821364	3.85E-05	0.006768393	0	2.0323257	2.0323257	1
76	3680	767	8428	553.901327	0.330734186	0.847582505	3.27E-04	0.002133769	0	4.773330436	4.773330436	1
77	3314	1054	8570	837.7299363	0.303338857	0.859272285	7.33E-04	0.001957025	0	7.068667553	7.068667553	1
78	3427	820	8640	595.0128384	0.219727757	0.895956086	3.46E-04	0.001417598	0	4.694421376	4.694421376	1
79	4545	914	8062	1379.244507	0.531061067	0.766799029	0.002342815	0.0034262	0	13.7016548	13.7016548	1
80	3187	1457	8078	956.1644276	2.765778276	0.250852757	0.002858943	0.017843731	0	23.7672504	23.7672504	1
81	3261	1503	7918	959.9075257	3.085101949	0.213834918	0.003139359	0.019903884	0	25.94177651	25.94177651	1
82	2868	1309	8006	271.3335742	2.129256112	0.344856098	1.90E-04	0.013737136	0	5.579067716	5.579067716	1
83	3628	1409	8168	1426.133004	1.785193646	0.409590736	0.004640735	0.011517378	0	26.0339182	26.0339182	1
84	2913	1137	8163	158.0180528	1.07144271	0.585246967	4.19E-05	0.006912534	0	2.133667746	2.133667746	1
85	3208	944	8230	181.5924609	0.256147544	0.879788473	3.32E-05	0.001652565	0	1.476048662	1.476048662	1
86	3803	1085	8108	952.8452617	0.112042727	0.945518936	8.06E-04	7.23E-04	0	6.845582966	6.845582966	1
87	3011	835	7984	-475.422323	0.48692085	0.783910499	2.70E-04	0.003141425	0	-4.58487576	4.584875761	1
88	3567	800	8006	72.82971123	0.232948726	0.890052915	5.23E-06	0.001502895	0	0.580909356	0.580909356	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
89	3204	973	8078	78.98188217	0.279193379	0.869708928	6.39E-06	0.001801248	0	0.65392979	0.65392979	1
90	2821	1015	8000	-328.434686	0.831740433	0.659765892	1.60E-04	0.005366067	0	-3.91384388	3.913843878	1
91	3496	1304	7920	843.6077169	1.176001	0.555436771	0.001257771	0.007587103	0	11.97591175	11.97591175	1
92	2821	1474	7933	453.5753617	3.654933505	0.16082045	8.05E-04	0.023580216	0	14.02351117	14.02351117	1
93	2678	1637	8004	674.0760848	5.905237891	0.05220281	0.002719184	0.038098309	0	31.3997158	31.3997158	1
94	2355	1117	7903	-732.09308	2.135076344	0.343853986	0.001383256	0.013774686	0	-15.0816796	15.08167955	1
95	2690	1628	7637	303.1840383	5.755291229	0.056267081	5.37E-04	0.037130911	0	13.80193958	13.80193958	1
96	2209	1190	7386	-1269.25372	2.916058628	0.232694391	0.005249567	0.018813281	0	-32.8434985	32.84349845	1
97	2138	944	5208	-3977.74703	2.110223818	0.348153464	0.040498468	0.013614347	0	-81.2804157	81.28041573	1
98	3471	886	4483	-3393.13818	0.104064914	0.949298055	0.010151746	6.71E-04	0	-24.2003715	24.2003715	1
99	3593	819	5291	-2579.3898	0.183818663	0.912187852	0.006299169	0.001185927	0	-19.7434928	19.7434928	1
100	4425	943	5436	-1320.66643	0.343131845	0.842344737	0.001878665	0.002213754	0	-11.4885179	11.48851791	1
101	3911	888	5211	-2193.74779	0.082371594	0.959650813	0.004158336	5.31E-04	0	-15.3347575	15.33475749	1
102	3419	1061	5624	-1983.71412	0.233576766	0.889773465	0.00388566	0.001506947	0	-15.8308036	15.83080362	1
103	5101	1318	5529	184.5126872	1.71177134	0.424906697	7.56E-05	0.011043686	0	3.277682307	3.277682307	1
104	3403	1505	5461	-1342.45644	2.889057949	0.235857145	0.005829913	0.018639084	0	-34.4916406	34.49164059	1
105	4076	1637	5308	-535.942036	3.606123161	0.164793586	0.0011113	0.023265311	0	-16.3907898	16.39078985	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
106	3597	1600	5192	-1229.52619	3.623791362	0.163344195	0.005872708	0.023379299	0	-37.7516434	37.75164341	1
107	3933	1688	4946	-955.607163	4.296174945	0.11670715	0.004100667	0.027717258	0	-33.7648058	33.76480584	1
108	4021	1645	5418	-469.605851	3.727892956	0.155059482	8.77E-04	0.024050922	0	-14.7541774	14.75417738	1
109	3802	1095	4753	-2384.72072	0.132696228	0.935805041	0.005147036	8.56E-04	0	-17.4550768	17.4550768	1
110	4343	1028	5107	-1579.60294	0.217624857	0.896898634	0.002431252	0.001404031	0	-12.440687	12.44068702	1
111	4350	994	5542	-1200.05204	0.227049537	0.892682086	0.00141434	0.001464836	0	-9.52553481	9.525534811	1
112	4783	1177	4426	-1517.30737	0.833823554	0.659079063	0.003411805	0.005379507	0	-18.1021142	18.10211421	1
113	4036	1074	4577	-2350.83774	0.101065803	0.950722648	0.004859345	6.52E-04	0	-16.7203912	16.72039121	1
114	4334	1321	4208	-1946.20869	1.006744354	0.604488776	0.006158327	0.006495125	0	-25.4449418	25.44494181	1
115	4586	1470	4804	-806.744723	2.055351498	0.357837699	0.00163522	0.013260332	0	-16.1875625	16.18756248	1
116	3987	1973	4697	-620.04562	8.385647719	0.015103574	0.00323542	0.054100953	1	-39.9363044	39.93630445	1
117	4445	1925	4413	-506.007164	7.250077522	0.026648064	0.001864672	0.046774694	1	-28.4236777	28.42367766	1
118	3739	1291	4514	-2328.14533	0.913643191	0.633293312	0.008392222	0.005894472	0	-29.0040838	29.00408385	1
119	5209	1525	4623	-223.803545	3.061617089	0.216360659	1.70E-04	0.019752368	0	-6.01259339	6.012593387	1
120	4579	1398	4735	-1016.36331	1.561180238	0.458135577	0.00216065	0.010072131	0	-17.0328351	17.03283514	1
121	4349	1054	4832	-1800.13326	0.232734417	0.890148293	0.003197518	0.001501512	0	-14.3558181	14.35581807	1
122	4643	1110	4678	-1538.04771	0.558355245	0.756405537	0.002966577	0.003602292	0	-15.5555275	15.5555275	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
123	4796	1205	4582	-1295.69776	0.915152832	0.63281547	0.002601455	0.005904212	0	-16.1547663	16.15476626	1
124	4605	1074	4169	-2154.02823	0.484211171	0.784973291	0.005535269	0.003123943	0	-20.7346228	20.73462282	1
125	4346	956	4172	-2644.59219	0.251407083	0.881876248	0.007007927	0.001621981	0	-21.4139951	21.41399507	1
126	5431	1175	4046	-1212.22546	1.973134695	0.372854376	0.003588633	0.012729901	0	-23.6549458	23.65494575	1
127	5349	1181	8182	2847.712118	1.799525789	0.406666071	0.018602652	0.011609844	0	52.25774758	52.25774758	1
128	4786	1518	4221	-1088.37254	2.550442702	0.279369123	0.00348211	0.016454469	0	-25.4676501	25.46765008	1
129	5295	1457	3587	-1294.17048	2.730450373	0.255323174	0.005185849	0.017615809	0	-31.8592775	31.85927746	1
130	6254	1369	4121	96.41016039	4.682742232	0.096195652	4.50E-05	0.03021124	0	3.664898428	3.664898428	1
131	6686	1619	3570	467.0214673	7.434609908	0.024299368	0.001628059	0.047965225	1	26.85475759	26.85475759	1
132	5522	1246	3825	-1205.1701	2.299175537	0.316767324	0.003953732	0.014833391	0	-26.1578973	26.15789731	1
133	3782	812	4354	-3328.44312	0.211969393	0.899438413	0.010743652	0.001367544	0	-26.0908976	26.09089759	1
134	5812	977	3893	-1326.48719	3.18326254	0.203593225	0.006147261	0.020537178	0	-36.7353495	36.73534955	1
135	5596	816	3639	-2107.88187	3.166977788	0.205257725	0.015458869	0.020432115	0	-58.141195	58.14119502	1
136	7033	839	3822	-354.902571	9.033356293	0.010925256	0.001143338	0.058279718	1	-24.5465542	24.54655421	1
137	7845	874	3970	720.9392507	13.57705712	0.001126625	0.007306725	0.087593917	1	74.80310203	74.80310203	1
138	3969	756	3843	-3744.25736	0.472392988	0.789625502	0.01658874	0.003047697	0	-35.7511432	35.75114318	1
139	4961	998	4345	-1740.20052	1.028210041	0.598035585	0.00497783	0.006633613	0	-22.9989438	22.99894381	1

ภาคผนวก ฉ-1 (ต่อ)

Date	TAIWAN	SINGAPOR	INCOME	Residual	MAH_1	Prob_MD	Cook	Leverage	Outlier	DFFITS	abs(DFFITS)	Influence
140	4043	1138	4004	-2798.01671	0.22868984	0.891950251	0.00769922	0.001475418	0	-22.2396241	22.23962414	1
141	2963	1208	4093	-3727.50689	1.325463117	0.515441451	0.026299062	0.008551375	0	-56.6166616	56.6166616	1
142	2419	975	4219	-4610.722	1.505748851	0.47101072	0.043469226	0.009714509	0	-75.5652817	75.56528174	1
143	5011	1446	3722	-1481.39041	2.255534294	0.323755348	0.005891221	0.014551834	0	-31.7179137	31.71791373	1
144	4229	941	3786	-3182.7009	0.173528444	0.916893253	0.009505403	0.001119538	0	-24.1469058	24.14690583	1
145	6160	892	4298	-708.810205	4.729768767	0.093960163	0.002455215	0.030514637	0	-27.1762205	27.17622046	1
146	5772	689	4199	-1595.71674	4.576018926	0.101468237	0.012084281	0.029522703	0	-59.4759722	59.4759722	1
147	4984	790	4441	-2004.48961	1.706707198	0.425983955	0.008899865	0.011011014	0	-35.5399063	35.53990626	1
148	5673	809	4155	-1522.98381	3.446007827	0.178529056	0.008643209	0.022232309	0	-44.908456	44.90845602	1
149	6643	948	5720	1330.169893	6.486129126	0.039044059	0.011570668	0.041845994	1	67.44358655	67.44358655	1
150	4137	713	5613	-1875.22132	0.789221464	0.673942332	0.005081101	0.005091751	0	-21.8197815	21.81978155	1
151	7621	904	6020	2588.332864	11.94374906	0.002549458	0.081712351	0.077056446	1	235.7138668	235.7138668	1
152	5640	1161	5267	205.0320403	2.473644747	0.290305236	1.21E-04	0.015958998	0	4.691356086	4.691356086	1
153	6512	1277	6621	2700.475211	5.394078686	0.06740478	0.040130581	0.034800508	0	116.0720653	116.0720653	1
154	5165	839	5644	-518.46348	1.889556699	0.388765732	6.37E-04	0.012190688	0	-9.8266964	9.8266964	1
155	6346	1566	4403	840.5900315	5.934416548	0.051446735	0.004248086	0.038286558	0	39.32960502	39.32960502	1
156	5329	750	4701	-1451.765	2.766327112	0.250783928	0.006591732	0.017847272	0	-36.091730	36.09173007	1

หมายเหตุ เมื่อ Date คือ ลำดับของค่าสังเกตที่เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

TAIWAN คือ จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน

SINGAPORE คือ จำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์

INCOME คือ รายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

Residual คือ ส่วนเหลือที่คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณขึ้นจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

MAH_1 คือ ระยะทางมหาลาโนบิส

Prob_MD คือ ค่า P สำหรับการทดสอบค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์โดยพบว่า $P < 0.05$ แสดงค่าสังเกตนั้นเป็นค่านอกเกณฑ์

Cook คือ ระยะทางของคุ้กของค่าสังเกต

Leverage คือ ค่า Leverage ของค่าสังเกต

Outlier คือ ค่านอกเกณฑ์ โดยที่ 1 หมายถึงค่าสังเกตที่เป็นค่านอกเกณฑ์ และ 0 หมายถึงค่าสังเกตที่ไม่เป็นค่านอกเกณฑ์

DFFITS คือ ค่าสถิติ *DFFITS* สำหรับตรวจสอบอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์

abs(DFFITS) คือ ค่าสัมบูรณ์ของค่า *DFFITS*

Influence คือ ค่าสังเกตที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ถ้าพบว่า $|DFFITS|_i > 2\sqrt{p/n}$ แล้วค่าค่าสังเกตนั้นมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยที่ 1 หมายถึงค่าสังเกตที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และ0 หมายถึงค่าสังเกตที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ภาคผนวก ช

ผลการพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

ภาคผนวก ช-1 ผลการคำนวณค่า *DMST* จากโปรแกรม

Income 7,637.000 Residue 201.758100

XValue 100.727047

Data #	Income	Residue	Euclidean Value	XValue
170	7,637.000000	201.758133	0.000000	0.000033
53	3,281.000000	834.874736	121.000017	0.063715
58	3,402.000000	834.811021	173.005005	1.315947
206	9,705.000000	2,572.517534	201.010385	2.043298
54	3,575.000000	833.495074	13.164888	2.077085
95	4,413.000000	-2,689.453241	164.017790	2.415692
13	2,643.000000	-1,899.058148	140.101928	5.343252
217	9,220.000000	322.269707	229.096971	6.664979
187	8,640.000000	417.380381	165.157031	7.200341
227	9,777.000000	1,889.136968	60.571302	8.299554
246	8,100.000000	-45.895457	197.235980	9.645297
262	10,368.000000	2,168.476707	120.457880	10.492891
119	4,199.000000	-2,069.127070	45.250859	10.565996
69	4,839.000000	2,035.529725	206.290295	10.940106
213	9,636.000000	1,870.043262	91.660405	10.983164
173	7,933.000000	196.125465	17.527541	11.756474
85	4,041.000000	-617.261127	229.314883	12.013146
219	9,563.000000	1,452.950839	104.812621	13.026338
179	8,108.000000	804.598632	33.079798	13.938186
155	5,107.000000	-1,973.029127	275.373673	14.340848
77	3,871.000000	741.977684	178.697156	15.769385
255	10,005.000000	1,952.806742	40.451183	16.349257
199	8,708.000000	1,036.921779	107.293762	16.611781
174	7,920.000000	184.368992	283.533739	17.389108
43	4,070.000000	397.404589	143.129846	17.948618
151	4,208.000000	-2,877.729563	147.109034	18.029638
109	4,701.000000	-1,708.952198	38.779355	18.650425
251	8,475.000000	410.180039	64.200510	20.017628
100	4,353.000000	-1,148.720320	24.146518	21.495449
126	4,345.000000	-2,200.580623	61.061782	21.898429
102	4,221.000000	-2,261.967308	43.133955	22.170657
75	3,820.000000	1.575330	90.781962	22.301675
115	5,613.000000	-1,550.837222	74.480252	22.501286
207	9,759.000000	2,234.965297	26.504062	22.504784
154	5,542.000000	-1,573.338508	84.673850	24.671053
221	9,602.000000	2,209.885910	158.990489	25.079387
1	2,219.000000	-3,233.940186	238.348925	25.322123
56	4,480.000000	1,315.640362	438.738659	25.448201
136	3,587.000000	-2,331.245842	137.396434	25.549559
105	4,342.000000	-1,127.224871	141.381407	25.839937
153	4,426.000000	-2,204.686677	35.386906	26.004483
245	8,181.000000	497.744128	31.881696	26.314303
144	4,832.000000	-1,987.369975	156.285739	26.631414
4	2,402.000000	-1,925.884328	77.016479	27.341142
225	9,717.000000	1,897.436522	85.506670	27.393260

ภาคผนวก ช-1 (ต่อ)

DMST Report

Income 8,230.000 Residue 168.492601

XValue 138.569708

Data #	Income	Residue	Euclidean Value	XValue
85	8,230.000000	168.492601	0.000000	0.000000
39	9,731.000000	424.837014	168.000165	0.235791
80	8,078.000000	951.872799	160.076039	4.933375
86	8,108.000000	945.336815	30.703731	6.535984
88	8,006.000000	59.120799	72.363527	7.244311
3	10,368.000000	726.000435	120.373653	9.477143
77	8,570.000000	827.101935	34.205196	12.082856
57	9,734.000000	3,294.280273	142.544844	12.451210
50	9,421.000000	641.304280	69.452135	14.127953
104	5,461.000000	-1,344.773648	30.466247	17.412415
53	9,825.000000	1,634.125318	134.137873	17.434705
141	4,093.000000	-3,737.309760	250.743876	19.300039
43	10,235.000000	2,505.715495	144.297591	19.307891
152	5,267.000000	208.539285	262.811282	20.634190
84	8,163.000000	146.716909	70.449846	21.775692
112	4,426.000000	-1,518.044567	253.015320	22.644031
15	8,425.000000	-1,458.151304	39.398881	24.316082
113	4,577.000000	-2,357.307827	67.741436	24.897833
26	9,372.000000	489.803224	29.005688	25.403344
41	9,905.000000	912.735524	130.884745	27.327944
19	8,100.000000	116.597817	69.829505	30.119092
75	8,394.000000	135.373174	167.310778	33.119427
82	8,006.000000	262.785357	44.465965	33.707893
109	4,753.000000	-2,392.060585	179.398312	34.752758
24	9,020.000000	-113.720819	276.639188	38.121387
29	9,489.000000	627.176327	86.820658	38.129079
38	9,777.000000	885.407580	146.406174	39.417863
49	9,370.000000	118.838552	127.337563	39.671840
76	8,428.000000	540.215006	215.871056	40.697823
70	8,980.000000	1,606.219319	108.786785	45.095061
65	8,829.000000	2,076.340653	51.944143	45.532340
55	10,053.000000	2,571.234573	60.468784	46.211187
135	3,639.000000	-2,110.605017	532.070223	46.890535
7	9,903.000000	1,413.599050	211.670127	48.664593
36	10,393.000000	1,315.925695	288.197604	49.008762
89	8,078.000000	66.365109	54.839082	50.232707
83	8,168.000000	1,423.334121	117.481759	50.655342
14	8,475.000000	-828.500882	123.822825	54.873417
154	5,644.000000	-523.061254	233.036603	56.833600
120	4,735.000000	-1,014.334752	220.030420	62.388987
147	4,441.000000	-2,010.894490	241.651800	64.082701
98	4,483.000000	-3,405.858514	144.473069	65.049733
105	5,308.000000	-532.412677	128.376234	66.185024
9	8,694.000000	66.875407	307.720562	68.497767
42	9,783.000000	2,615.882331	107.418922	73.856786

ภาคผนวก **ช-1** (ต่อ)

Data #	Income	Residue	Euclidean Value	XValue
148	4,155.000000	-1,525.422309	86.348228	74.296813
72	9,079.000000	1,651.314380	249.465815	74.760905
62	9,174.000000	1,054.526843	97.011350	77.007805
35	10,391.000000	1,569.528868	106.867830	81.607188
4	10,248.000000	735.477578	256.789587	83.017420
122	4,678.000000	-1,540.688598	86.748390	83.643787
51	9,476.000000	818.468734	89.171980	85.881558
16	8,414.000000	-492.815259	113.284538	89.069560
28	9,452.000000	732.587176	96.403148	91.282895
58	9,759.000000	1,825.687122	93.923866	92.874607
10	10,005.000000	818.494998	137.409158	94.240526
100	5,436.000000	-1,327.361233	263.016967	98.193303
31	9,773.000000	1,732.812515	111.548926	98.687197
11	8,484.000000	-581.884819	236.249774	100.089739
6	8,991.000000	-586.049236	310.995063	104.254156
127	8,182.000000	2,850.031397	533.553356	105.594428
150	5,613.000000	-1,887.434777	106.799517	106.231525
52	9,636.000000	924.825443	192.124308	106.356710
21	8,035.000000	229.077464	129.910242	112.479647
151	6,020.000000	2,597.826166	611.489303	112.774856
117	4,413.000000	-495.523304	306.633651	115.620915
126	4,046.000000	-1,209.577757	191.817606	115.693535
12	8,456.000000	-1,433.835222	146.058606	116.572366
81	7,918.000000	956.806174	118.536351	118.519478
155	4,403.000000	854.864389	450.342466	123.771309
132	3,825.000000	-1,200.807759	141.827963	124.463533
61	9,358.000000	515.206569	140.959685	126.097711
128	4,221.000000	-1,083.165257	215.882190	126.412500
27	9,459.000000	246.064364	155.265602	127.225811
37	10,019.000000	1,040.448327	171.191589	127.712803
48	9,220.000000	-1,450.700662	689.044010	133.437806
33	10,092.000000	2,525.023386	231.339181	137.556595
111	5,542.000000	-1,206.255947	160.462312	138.517701
40	9,717.000000	1,063.395151	160.507208	138.569708
153	6,621.000000	2,710.601022	1,567.214672	139.430375
146	4,199.000000	-1,599.719122	204.638898	143.391348
95	7,637.000000	299.242622	331.119466	148.405192
115	4,804.000000	-803.427428	205.479187	148.518336
87	7,984.000000	-491.456887	149.970392	149.114447
143	3,722.000000	-1,476.247540	228.111436	150.976248
140	4,004.000000	-2,803.337153	226.462447	151.859276
45	9,354.000000	2,041.443179	291.815049	153.792142
59	9,705.000000	2,542.025545	253.553561	154.558754
66	8,708.000000	1,447.451186	314.946535	158.768133
156	4,701.000000	-1,457.044811	200.337820	161.165264

ภาคผนวก ช-1 (ต่อ)

Data #	Income	Residue	Euclidean Value	XValue
30	9,567.000000	589.047249	164.023224	163.974443
91	7,920.000000	838.286697	187.882376	168.058880
1	11,221.000000	1,317.068927	779.943372	170.852753
157	10,460.000000	1,487.921680	184.584991	171.995985
69	8,825.000000	2,995.507467	329.813666	172.673258
46	9,563.000000	425.072805	207.026622	179.008442
92	7,933.000000	447.647814	198.753938	184.862457
101	5,211.000000	-2,204.111345	495.064558	187.949240
129	3,587.000000	-1,287.337616	232.189490	188.909924
2	9,968.000000	628.929180	193.142951	189.565819
17	8,364.000000	-773.627465	226.197352	191.742646
60	9,906.000000	2,387.466791	359.678937	192.231470
116	4,697.000000	-611.144219	220.049614	192.283209
25	9,249.000000	79.166712	299.410420	192.887531
134	3,893.000000	-1,325.271292	329.703548	200.151017
54	9,958.000000	1,616.690613	210.407184	203.091563
20	8,181.000000	-137.037611	227.994883	203.402721
114	4,208.000000	-1,946.811789	245.485697	203.701319
90	8,000.000000	-342.342440	273.698872	205.304828
5	9,545.000000	1,273.464549	271.501661	210.069398
102	5,624.000000	-1,993.666302	463.525745	210.445043
124	4,169.000000	-2,157.495552	214.263035	210.683763
145	4,298.000000	-707.235631	240.929678	211.712328
63	9,115.000000	977.519038	310.412527	213.847930
23	8,746.000000	-151.842206	224.814133	218.717614
110	5,107.000000	-1,585.252667	352.200959	220.046621
93	8,004.000000	670.227816	233.629744	222.580002
139	4,345.000000	-1,743.110470	239.197953	225.065903
73	8,827.000000	299.026810	267.550507	232.151403
74	8,602.000000	815.019079	237.170268	234.106250
13	8,544.000000	-1,317.262856	326.727290	235.954915
131	3,570.000000	484.011559	470.158780	247.081521
67	8,705.000000	2,744.436969	278.273957	251.070498
22	8,318.000000	-1,081.307941	297.591010	252.807059
94	7,903.000000	-746.686663	267.774604	255.229776
64	8,890.000000	1,191.366968	314.170538	256.084218
121	4,832.000000	-1,805.299288	306.161424	264.610690
32	10,120.000000	2,112.925607	348.093180	274.541184
119	4,623.000000	-216.242276	349.425089	279.281028
71	9,106.000000	2,822.834209	661.554613	280.808664
123	4,582.000000	-1,295.879547	320.431696	281.544795
78	8,640.000000	580.912829	338.273155	281.886018
47	9,317.000000	1,576.553475	379.271535	303.088926
125	4,172.000000	-2,651.477877	467.726751	319.067883
118	4,514.000000	-2,332.409994	329.698680	321.515504

ภาคผนวก ช-1 (ต่อ)

Data #	Income	Residue	Euclidean Value	XValue
34	10,109.000000	1,364.934457	336.736171	324.486130
8	8,698.000000	-481.795080	333.426002	329.952874
106	5,192.000000	-1,229.167930	366.089251	356.084737
136	3,822.000000	-349.642400	595.356128	357.593232
44	9,602.000000	2,195.235321	401.515717	369.548199
68	8,854.000000	2,030.808313	441.180966	379.493933
144	3,786.000000	-3,190.464825	444.288008	387.127672
99	5,291.000000	-2,592.631164	396.670707	388.519819
18	7,858.000000	-1,849.786846	689.106231	391.635542
133	4,354.000000	-3,340.808781	474.693613	396.500979
107	4,946.000000	-951.945765	554.122741	419.533088
79	8,062.000000	1,372.678779	421.110049	420.805980
130	4,121.000000	106.773953	545.634389	456.416353
138	3,843.000000	-3,756.609799	569.007145	566.144974
96	7,386.000000	-1,283.348600	737.316951	566.438246
97	5,208.000000	-3,996.493573	935.133559	590.635059
137	3,970.000000	731.093080	642.320304	624.319127
108	5,418.000000	-466.227653	663.483724	654.132748
56	9,876.000000	3,281.829063	672.409139	665.946732
142	4,219.000000	-4,627.446660	899.010401	890.136900
103	5,529.000000	187.905095	1,163.151050	1,147.361915
149	5,720.000000	1,335.267010	1,297.711687	1,262.559156

ภาคผนวก ช-2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากวิธีตัวประมาณค่า *S* ปรับแก้ และวิธีตัวประมาณค่า *S*

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากวิธีตัวประมาณค่า *S* ปรับแก้

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	13,184.711998	-1.039830	-1.828727	-	-	-	-
2	13,239.258249	-1.041215	-1.885133	-	-	-	-
3	13,376.384381	-1.085166	-1.883248	-	-	-	-

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากวิธีตัวประมาณค่า *S*

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	13,932.830657	-1.152090	-2.325678	-	-	-	-
2	14,377.781780	-1.256609	-2.458546	-	-	-	-
3	14,677.058959	-1.307159	-2.452545	-	-	-	-
4	14,781.293243	-1.277924	-2.470997	-	-	-	-
5	14,708.520161	-1.437218	-2.334016	-	-	-	-
6	14,646.265626	-1.456163	-2.189979	-	-	-	-
7	14,587.820386	-1.307763	-2.140678	-	-	-	-
8	14,316.366063	-1.319005	-2.143301	-	-	-	-
9	14,236.332626	-1.083728	-1.936124	-	-	-	-
10	13,769.962753	-1.231924	-1.838323	-	-	-	-
11	13,844.472141	-1.160055	-2.000586	-	-	-	-
12	13,827.267578	-1.107389	-1.995589	-	-	-	-
13	13,797.548852	-1.191929	-1.815584	-	-	-	-
14	13,847.512805	-1.364184	-2.135885	-	-	-	-
15	13,777.325651	-1.316527	-1.917789	-	-	-	-
16	13,834.110097	-1.093720	-1.973328	-	-	-	-
17	13,733.914192	-1.185155	-1.834675	-	-	-	-
18	13,807.696613	-1.112219	-1.945491	-	-	-	-
19	13,784.272347	-1.146027	-1.861848	-	-	-	-
20	13,814.248877	-1.047317	-2.013008	-	-	-	-
21	13,755.452786	-1.073543	-1.918556	-	-	-	-
22	13,775.330217	-1.157933	-1.740205	-	-	-	-
23	13,826.946229	-1.129383	-1.843620	-	-	-	-

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
24	13,817.189039	-1.045844	-1.922929	-	-	-	-
25	13,752.468822	-1.132182	-1.817187	-	-	-	-
26	13,816.233585	-1.065935	-1.883946	-	-	-	-
27	13,763.137842	-1.147853	-1.773523	-	-	-	-
28	13,823.385289	-1.107572	-1.855552	-	-	-	-
29	13,799.145465	-1.339381	-2.006128	-	-	-	-
30	13,784.144727	-1.071615	-2.133182	-	-	-	-
31	13,721.573894	-1.107146	-1.938948	-	-	-	-
32	13,764.158060	-1.075186	-1.967124	-	-	-	-
33	13,761.700952	-1.067771	-1.869770	-	-	-	-
34	13,754.352837	-1.099512	-1.867504	-	-	-	-
35	13,790.197204	-1.307887	-2.050067	-	-	-	-
36	13,792.681946	-1.214552	-1.874274	-	-	-	-
37	13,814.551222	-1.202637	-1.904832	-	-	-	-
38	13,836.746935	-1.266033	-1.836308	-	-	-	-
39	13,881.499794	-1.169542	-2.094218	-	-	-	-
40	13,846.701866	-1.221205	-1.925492	-	-	-	-
41	13,872.361980	-1.223722	-1.932271	-	-	-	-
42	13,880.180525	-1.250391	-1.936668	-	-	-	-
43	13,896.191304	-1.184735	-2.128748	-	-	-	-
44	13,867.042584	-1.104832	-2.124924	-	-	-	-
45	13,811.860543	-1.317752	-2.081937	-	-	-	-
46	13,798.767293	-1.062904	-2.102336	-	-	-	-

ภาคผนวก ช-2 (ต่อ)

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
47	13,714.928281	-1.087172	-1.969461	-	-	-	-
48	13,754.693593	-1.028445	-2.013417	-	-	-	-
49	13,729.907270	-0.992443	-1.968054	-	-	-	-
50	13,704.673380	-1.039220	-1.903257	-	-	-	-
51	13,746.154665	-1.109274	-1.767361	-	-	-	-
52	13,791.950457	-0.964050	-1.962933	-	-	-	-
53	13,701.056547	-1.107138	-1.866513	-	-	-	-
54	13,795.500803	-1.335712	-1.983681	-	-	-	-
55	13,804.142545	-1.132780	-2.029600	-	-	-	-
56	13,765.249877	-1.067251	-1.986718	-	-	-	-
57	13,743.853457	-0.986685	-1.997434	-	-	-	-
58	13,694.159764	-0.985673	-2.016595	-	-	-	-
59	13,710.848424	-1.041305	-1.859143	-	-	-	-
60	13,742.746599	-1.122232	-1.739174	-	-	-	-
61	13,800.107344	-1.021430	-1.937063	-	-	-	-
62	13,733.947629	-1.120226	-1.793136	-	-	-	-
63	13,805.088580	-1.025903	-1.959150	-	-	-	-
64	13,739.494580	-1.109631	-1.830866	-	-	-	-
65	13,800.067282	-0.996902	-1.968570	-	-	-	-
66	13,711.542416	-1.089538	-1.899236	-	-	-	-
67	13,787.487587	-1.297271	-2.040153	-	-	-	-
68	13,806.332979	-1.199321	-1.784866	-	-	-	-
69	13,798.532146	-1.039873	-2.057257	-	-	-	-

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
70	13,731.986349	-1.317975	-2.045899	-	-	-	-
71	13,736.793335	-1.068414	-2.041530	-	-	-	-
72	13,698.223003	-1.036741	-2.001497	-	-	-	-
73	13,715.090778	-1.169531	-1.717214	-	-	-	-
74	13,801.645282	-1.045993	-1.925342	-	-	-	-
75	13,731.926352	-1.023288	-1.952284	-	-	-	-
76	13,732.621386	-1.065220	-1.842658	-	-	-	-
77	13,761.074011	-1.153306	-1.771601	-	-	-	-
78	13,827.904954	-1.133637	-1.830914	-	-	-	-
79	13,819.291725	-1.056597	-1.915927	-	-	-	-
80	13,761.692524	-1.148123	-1.788474	-	-	-	-
81	13,825.735768	-1.118751	-1.841733	-	-	-	-
82	13,807.179446	-1.006667	-1.972273	-	-	-	-
83	13,723.060025	-1.101737	-1.882563	-	-	-	-
84	13,796.940767	-1.336289	-2.021565	-	-	-	-
85	13,790.930701	-1.111630	-2.087052	-	-	-	-
86	13,750.923908	-1.351794	-2.097830	-	-	-	-
87	13,723.247382	-1.275171	-1.873562	-	-	-	-
88	13,801.789977	-1.285677	-2.053862	-	-	-	-
89	13,825.754998	-1.297387	-2.178116	-	-	-	-
90	13,822.320397	-1.135874	-1.969111	-	-	-	-
91	13,768.665666	-1.077100	-2.013971	-	-	-	-
92	13,759.420141	-1.036710	-1.978989	-	-	-	-

ภาคผนวก ช-2 (ต่อ)

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
93	13,737.159943	-1.027726	-1.914923	-	-	-	-
94	13,731.220095	-1.075710	-1.882786	-	-	-	-
95	13,776.093534	-1.270016	-2.041855	-	-	-	-
96	13,811.398664	-1.046545	-1.896380	-	-	-	-
97	13,677.022232	-1.044218	-1.971616	-	-	-	-
98	13,725.067564	-1.309828	-2.026282	-	-	-	-
99	13,748.355953	-1.064330	-2.027134	-	-	-	-
100	13,697.965044	-1.037002	-2.027413	-	-	-	-
101	13,720.358869	-1.274385	-2.078479	-	-	-	-
102	13,752.894650	-1.265185	-2.115506	-	-	-	-
103	13,792.998969	-1.043416	-1.945606	-	-	-	-
104	13,679.062859	-1.025904	-1.995800	-	-	-	-
105	13,712.771249	-1.281243	-2.051534	-	-	-	-
106	13,750.258467	-1.279056	-2.166512	-	-	-	-
107	13,777.097869	-1.129832	-1.866108	-	-	-	-
108	13,740.676473	-1.240574	-1.727865	-	-	-	-
109	13,827.143820	-0.983767	-1.745930	-	-	-	-
110	13,609.344357	-1.114789	-1.904033	-	-	-	-
111	13,747.470202	-1.048017	-1.961447	-	-	-	-
112	13,726.957125	-1.324666	-2.071875	-	-	-	-
113	13,721.252414	-1.066401	-2.082052	-	-	-	-
114	13,695.552975	-1.025181	-1.982711	-	-	-	-
115	13,701.126310	-1.141049	-1.837801	-	-	-	-

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
116	13,789.111118	-1.324430	-2.127782	-	-	-	-
117	13,762.531568	-1.272389	-1.827584	-	-	-	-
118	13,829.359250	-1.294580	-2.017345	-	-	-	-
119	13,846.872018	-1.380451	-2.014615	-	-	-	-
120	13,841.700659	-1.065883	-1.910290	-	-	-	-
121	13,678.006872	-0.997708	-2.124322	-	-	-	-
122	13,701.332012	-1.126604	-1.810547	-	-	-	-
123	13,780.570502	-1.184729	-1.762147	-	-	-	-
124	13,832.242201	-1.185093	-1.811954	-	-	-	-
125	13,840.294430	-1.220833	-1.830110	-	-	-	-
126	13,878.536209	-1.229783	-1.921163	-	-	-	-
127	13,887.598547	-1.300151	-1.832358	-	-	-	-
128	13,921.293817	-1.151046	-1.824147	-	-	-	-
129	13,797.353760	-1.205698	-1.770671	-	-	-	-
130	13,845.302383	-1.378576	-2.069825	-	-	-	-
131	13,784.372948	-1.035361	-1.878485	-	-	-	-
132	13,631.950513	-1.164771	-1.855449	-	-	-	-
133	13,757.629098	-1.164024	-1.881357	-	-	-	-
134	13,798.052304	-1.375124	-2.098620	-	-	-	-
135	13,743.182562	-1.230983	-2.045603	-	-	-	-
136	13,788.071099	-0.996479	-1.908215	-	-	-	-
137	13,635.296881	-1.006763	-2.079373	-	-	-	-
138	13,705.610682	-1.238399	-2.092478	-	-	-	-

ภาคผนวก ช-2 (ต่อ)

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
139	13,764.137147	-1.026499	-1.892722	-	-	-	-
140	13,655.244441	-0.989786	-2.057406	-	-	-	-
141	13,691.487364	-1.143792	-1.787457	-	-	-	-
142	13,790.363871	-1.339111	-2.068765	-	-	-	-
143	13,769.364419	-1.082014	-2.168144	-	-	-	-
144	13,728.443552	-1.145065	-1.838654	-	-	-	-
145	13,779.369087	-1.176964	-1.797640	-	-	-	-
146	13,819.628265	-1.114764	-1.880141	-	-	-	-
147	13,790.446774	-1.188715	-1.775214	-	-	-	-
148	13,842.969461	-1.240286	-1.718969	-	-	-	-
149	13,881.413889	-1.248800	-1.801696	-	-	-	-
150	13,896.570757	-1.001171	-1.754998	-	-	-	-
151	13,635.137958	-1.198451	-1.822064	-	-	-	-
152	13,775.964109	-1.077647	-2.091525	-	-	-	-
153	13,754.963598	-0.994117	-2.080310	-	-	-	-
154	13,706.604885	-1.313580	-2.066820	-	-	-	-
155	13,715.899347	-1.343308	-2.170005	-	-	-	-
156	13,731.631252	-1.161252	-2.035968	-	-	-	-
157	13,762.029596	-1.174381	-1.917205	-	-	-	-
158	13,804.156954	-1.068659	-2.055493	-	-	-	-
159	13,759.523097	-1.028253	-2.003589	-	-	-	-
160	13,735.023742	-1.026437	-1.926450	-	-	-	-
161	13,733.267080	-1.079189	-1.877757	-	-	-	-

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
162	13,779.168486	-1.279582	-2.037452	-	-	-	-
163	13,808.889619	-1.091083	-1.880907	-	-	-	-
164	13,715.451014	-1.139059	-1.872005	-	-	-	-
165	13,781.556892	-1.186043	-1.812328	-	-	-	-
166	13,828.116606	-1.175106	-1.839484	-	-	-	-
167	13,835.200130	-1.160914	-1.834454	-	-	-	-
168	13,831.033061	-1.119342	-1.930678	-	-	-	-
169	13,813.394113	-1.006837	-2.052247	-	-	-	-
170	13,731.415669	-1.067763	-1.946653	-	-	-	-
171	13,777.408589	-1.257304	-2.099480	-	-	-	-
172	13,806.094708	-1.351708	-1.987793	-	-	-	-
173	13,833.517013	-1.160205	-2.064375	-	-	-	-
174	13,797.425325	-1.259525	-1.803865	-	-	-	-
175	13,859.208364	-1.310976	-1.901292	-	-	-	-
176	13,890.613004	-1.174479	-1.836233	-	-	-	-
177	13,808.042234	-1.274170	-1.781489	-	-	-	-
178	13,868.387719	-1.044096	-1.755639	-	-	-	-
179	13,665.011724	-1.128940	-1.841110	-	-	-	-
180	13,768.768976	-1.139014	-1.836233	-	-	-	-
181	13,795.982913	-1.328978	-2.103633	-	-	-	-
182	13,765.214023	-1.279422	-1.861205	-	-	-	-
183	13,829.699570	-1.373843	-1.943932	-	-	-	-
184	13,837.331541	-1.261890	-2.035602	-	-	-	-

ภาคผนวก ช-2 (ต่อ)

Loop #	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
185	13,851.067665	-1.077751	-1.880190	-	-	-	-
186	13,714.831410	-1.164381	-1.819569	-	-	-	-
187	13,796.133960	-1.019148	-2.028489	-	-	-	-
188	13,716.087292	-1.323700	-2.061767	-	-	-	-
189	13,713.902498	-1.382963	-2.153325	-	-	-	-
190	13,715.883539	-1.347916	-1.949647	-	-	-	-
191	13,793.443539	-1.276980	-1.894121	-	-	-	-
192	13,846.368774	-1.070169	-1.891528	-	-	-	-
193	13,709.673107	-1.150152	-1.826739	-	-	-	-
194	13,788.620533	-1.328569	-2.079873	-	-	-	-
195	13,772.688081	-1.395083	-2.190746	-	-	-	-
196	13,740.697974	-1.293850	-2.105729	-	-	-	-
197	13,791.685421	-1.352383	-2.148337	-	-	-	-
198	13,793.004466	-1.183659	-2.156147	-	-	-	-
199	13,801.259288	-1.182993	-1.957139	-	-	-	-

ภาคผนวก ช-3 ค่า *RMSE* และ *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ และวิธีตัวประมาณค่า S

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
1	2483	372	11221	1317.06892	9981.349041	1536734.5	0.110475979	0.110475979	10336.8616	781700.7104	0.078793191	0.078793191
2	3045	353	9968	628.929179	9407.267525	314420.9081	0.056253258	0.056253258	9737.177134	53279.19547	0.023156387	0.023156387
3	2896	276	10368	726.000434	9713.967373	427758.6778	0.063081851	0.063081851	10047.41394	102775.4212	0.030920723	0.030920723
4	2984	295	10248	735.477578	9582.691053	442635.9944	0.064920857	0.064920857	9912.999457	112225.3638	0.032689358	0.032689358
5	3936	415	9545	1273.46454	8323.623307	1491761.027	0.127959842	0.127959842	8616.592441	861940.5956	0.097266376	0.097266376
6	2796	368	8991	-586.049236	9649.225108	433260.2931	-0.07320933	0.073209332	9990.739201	999478.47	-0.11119333	0.111193327
7	3566	510	9903	1413.59905	8546.22609	1840835.442	0.137006353	0.137006353	8859.320251	1089267.418	0.10539026	0.10539026
8	2668	654	8698	-481.79508	9249.517296	304171.328	-0.06340737	0.063407369	9608.024905	828145.3277	-0.10462462	0.104624615
9	2883	827	8694	66.8754072	8690.404652	12.92653015	0.000413544	0.000413544	9046.2613	124088.0235	-0.04051775	0.040517748
10	2840	552	10005	818.494998	9254.9601	562559.8517	0.074966507	0.074966507	9601.820269	162553.8955	0.040297824	0.040297824
11	2682	707	8484	-581.884819	9134.512807	423166.9127	-0.07667525	0.076675248	9494.501683	1021113.651	-0.11910675	0.119106752
12	2248	514	8456	-1433.83522	9968.941752	2288992.746	-0.17891932	0.178919318	10340.47257	3551236.848	-0.22285626	0.222856264
13	2273	515	8544	-1317.26286	9939.929357	1948618.768	-0.16338124	0.163381245	10310.39437	3120149.07	-0.20674091	0.206740914
14	2914	447	8475	-828.500882	9372.398907	805324.7984	-0.10588778	0.105887777	9711.826027	1529738.621	-0.14593817	0.145938174
15	2464	394	8425	-1458.1513	9960.535728	2357869.972	-0.18225943	0.182259434	10317.76024	3582541.315	-0.22465997	0.224659969
16	3371	398	8414	-492.815259	8968.757263	307755.6212	-0.06593264	0.065932644	9286.035376	760445.697	-0.103641	0.103641
17	2891	549	8364	-773.627465	9205.266384	707729.1293	-0.10058182	0.100581825	9549.752596	1406009.219	-0.1417686	0.141768603
18	2560	433	7858	-1849.78685	9782.913113	3705290.494	-0.24496222	0.244962219	10137.43829	5195838.913	-0.29007868	0.290078683
19	3989	539	8100	116.597816	8032.58671	4544.551607	0.008322628	0.008322628	8328.126262	52041.59141	-0.02816374	0.028163736
20	3050	897	8181	-137.037611	8377.354557	38555.11211	-0.02400129	0.02400129	8728.600939	299866.7884	-0.0669357	0.066935697
21	3255	1054	8035	229.0774639	7859.225546	30896.65859	0.021876099	0.021876099	8207.629084	29800.80064	-0.02148464	0.02148464

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
22	2466	652	8318	-1081.3079	9472.487305	1332840.937	-0.13879386	0.138793857	9839.847511	2316019.847	-0.18295834	0.182958345
23	2890	678	8746	-151.842206	8963.412504	47268.19707	-0.02485851	0.024858507	9313.054999	321551.3719	-0.06483592	0.064835925
24	2615	709	9020	-113.720819	9203.452426	33654.79258	-0.02033841	0.020338406	9566.483104	298643.783	-0.06058571	0.06058571
25	2943	502	9249	79.1667121	9237.350433	135.7124097	0.001259549	0.001259549	9577.67482	108027.1373	-0.03553625	0.035536255
26	3228	493	9372	489.803224	8945.027387	182305.6119	0.045558324	0.045558324	9272.393245	9921.505642	0.010628122	0.010628122
27	3025	432	9459	246.064363	9280.194218	31971.50751	0.018903244	0.018903244	9614.118814	24061.84646	-0.01639907	0.016399071
28	3494	428	9452	732.587175	8778.784405	453219.2372	0.071224671	0.071224671	9091.812667	129734.9149	0.038106997	0.038106997
29	3102	576	9489	627.176327	8925.448672	317590.0991	0.05938996	0.05938996	9261.675043	51676.63608	0.023956682	0.023956682
30	3023	559	9567	589.047248	9043.192001	274374.8195	0.054751542	0.054751542	9382.23784	34137.05577	0.019312445	0.019312445
31	3602	730	9773	1732.81251	8092.845466	2822919.258	0.171917992	0.171917992	8413.066063	1849420.313	0.139152147	0.139152147
32	3224	964	10120	2112.92560	8062.358047	4233890.408	0.203324304	0.203324304	8408.565757	2929007.168	0.169114056	0.169114056
33	3428	1083	10092	2525.02338	7616.877642	6126230.69	0.245255882	0.245255882	7958.780845	4550623.963	0.211377245	0.211377245
34	2999	698	10109	1364.93445	8807.464453	1693994.78	0.128750178	0.128750178	9153.079852	913783.3294	0.094561297	0.094561297
35	2549	914	10391	1569.52886	8889.00745	2255981.621	0.14454745	0.14454745	9263.080282	1272202.89	0.108547755	0.108547755
36	2488	812	10393	1315.92569	9147.293908	1551783.667	0.119860107	0.119860107	9520.021885	762090.7893	0.08399674	0.08399674
37	2769	704	10019	1040.44832	9045.753119	947209.4905	0.097140122	0.097140122	9401.776222	380965.1921	0.061605328	0.061605328
38	2978	631	9777	885.407580	8956.430581	673334.1717	0.083928549	0.083928549	9300.319435	227224.361	0.0487553	0.0487553
39	2714	560	9731	424.837014	9376.625016	125581.6293	0.036417119	0.036417119	9729.373567	2.645284303	0.000167139	0.000167139
40	3234	612	9717	1063.39515	8714.40983	1005187.048	0.103178982	0.103178982	9046.226167	449937.535	0.069030959	0.069030959
41	2889	628	9905	912.735524	9058.660091	716291.2413	0.085445725	0.085445725	9406.365382	248636.4823	0.050341708	0.050341708
42	4068	931	9783	2615.88233	7208.625225	6627405.482	0.263147784	0.263147784	7516.205965	5138355.197	0.231707455	0.231707455

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
43	3526	940	10235	2505.71549	7779.835907	6027830.724	0.239879247	0.239879247	8111.738971	4508237.397	0.207451004	0.207451004
44	3155	1325	9602	2195.235321	7457.381815	4599387.158	0.223351196	0.223351196	7820.946364	3172152.054	0.185487777	0.185487777
45	3196	1352	9354	2041.443179	7362.042306	3967895.454	0.212952501	0.212952501	7724.863921	2654084.364	0.174164644	0.174164644
46	2050	1030	9563	425.0728053	9212.048418	123167.0132	0.0366989	0.0366989	9612.782479	2478.295215	-0.00520574	0.005205739
47	3353	1033	9317	1576.553475	7792.427505	2324321.293	0.163633412	0.163633412	8135.66557	1395551.036	0.126793435	0.126793435
48	699	982	9220	-1450.70066	10768.50347	2397863.003	-0.16795049	0.167950485	11227.07267	4028340.711	-0.21768684	0.217686841
49	2145	915	9370	118.8385525	9325.531225	1977.471953	0.004745867	0.004745867	9717.507394	120761.3889	-0.03708724	0.037087235
50	2880	747	9421	641.3042801	8844.320023	332559.7963	0.061212183	0.061212183	9197.139049	50113.72538	0.02376191	0.02376191
51	3087	694	9476	818.4687338	8719.502847	572287.9418	0.079832962	0.079832962	9061.068628	172168.0435	0.043787608	0.043787608
52	3063	679	9636	924.8254433	8773.795555	743396.5044	0.089477423	0.089477423	9115.82812	270578.7847	0.053982138	0.053982138
53	3204	877	9825	1634.125318	8247.903977	2487231.866	0.160518679	0.160518679	8591.548357	1521402.956	0.125542152	0.125542152
54	3203	797	9958	1616.690613	8399.649016	2428457.789	0.156492366	0.156492366	8740.16734	1483116.388	0.122296913	0.122296913
55	3728	957	10053	2571.234573	7528.617172	6372508.662	0.251107414	0.251107414	7852.262065	4843247.459	0.218913552	0.218913552
56	3879	1346	9876	3281.829063	6632.173487	10522410.45	0.328455499	0.328455499	6964.557052	8476500.039	0.294799812	0.294799812
57	3688	1538	9734	3294.280273	6477.856478	10602470.64	0.334512382	0.334512382	6826.294165	8454753.223	0.298716441	0.298716441
58	3335	940	9759	1825.687122	7987.102594	3139620.418	0.181565468	0.181565468	8327.451124	2049332.184	0.146690119	0.146690119
59	3565	1221	9705	2542.025545	7208.321632	6233402.875	0.257256916	0.257256916	7549.635814	4645594.774	0.222088015	0.222088015
60	3351	1153	9906	2387.466791	7568.608027	5463401.237	0.235957195	0.235957195	7916.689936	3957354.531	0.200818702	0.200818702
61	2765	779	9358	515.2065689	8908.850152	201735.5862	0.047996351	0.047996351	9268.022254	8095.994775	0.009615062	0.009615062
62	3346	834	9174	1054.526843	8174.790101	998420.4221	0.108917582	0.108917582	8510.451631	440296.438	0.072329231	0.072329231
63	3649	651	9115	977.5190383	8190.619294	854479.6902	0.101413133	0.101413133	8505.631042	371330.527	0.066853424	0.066853424

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
64	4121	616	8890	1191.366968	7744.334684	1312549.017	0.128871239	0.128871239	8037.088966	727457.2319	0.095940499	0.095940499
65	4858	701	8829	2076.340653	6784.4913	4180015.824	0.231567414	0.231567414	7048.025995	3171868.406	0.201718655	0.201718655
66	4213	798	8708	1447.451186	7301.748209	1977544.1	0.161489641	0.161489641	7597.64689	1232884.029	0.127509544	0.127509544
67	5409	810	8705	2744.436969	5981.290812	7418591.742	0.3128902	0.3128902	6224.781382	6151484.393	0.284918853	0.284918853
68	3953	1181	8854	2030.808313	6862.607199	3965645.287	0.224914479	0.224914479	7185.18001	2784960.159	0.188482041	0.188482041
69	4268	1533	8825	2995.507467	5857.876498	8803821.875	0.336217961	0.336217961	6180.470125	6993538.26	0.299663442	0.299663442
70	3698	1032	8980	1606.219319	7419.928518	2433823.03	0.173727337	0.173727337	7747.872055	1518139.273	0.137208012	0.137208012
71	4289	1278	9106	2822.834209	6315.316361	7787915.176	0.306466466	0.306466466	6626.876182	6146054.905	0.272251682	0.272251682
72	3270	1248	9079	1651.31438	7477.597865	2564488.798	0.1763853	0.1763853	7833.026059	1552451.062	0.137236914	0.137236914
73	2829	911	8827	299.0268105	8590.810743	55785.36504	0.026757591	0.026757591	8952.383902	15721.12288	-0.01420459	0.014204588
74	3666	829	8602	815.0190787	7836.953255	585296.5217	0.088938241	0.088938241	8158.267171	196898.8235	0.051584844	0.051584844
75	3609	609	8394	135.3731744	8313.122363	6541.192134	0.009635172	0.009635172	8628.238402	54867.62897	-0.02790546	0.027905457
76	3680	767	8428	540.2150059	7938.522334	239588.3851	0.058077559	0.058077559	8256.760249	29323.05232	0.020317958	0.020317958
77	3314	1054	8570	827.1019352	7795.200758	600313.8651	0.090408313	0.090408313	8140.995487	184044.8722	0.05005887	0.05005887
78	3427	820	8640	580.9128289	8113.257141	277458.0395	0.060965609	0.060965609	8444.782288	38109.95508	0.022594643	0.022594643
79	4545	914	8062	1372.678779	6723.016314	1792877.312	0.166085796	0.166085796	7008.831814	1109163.228	0.130633613	0.130633613
80	3187	1457	8078	951.8727987	7174.067715	817093.575	0.111900506	0.111900506	7541.448268	287887.7611	0.066421358	0.066421358
81	3261	1503	7918	956.8061741	7007.136012	829673.2052	0.115037129	0.115037129	7373.067406	296951.532	0.068822	0.068822
82	2868	1309	8006	262.785357	7798.956403	42867.05098	0.025861054	0.025861054	8174.577205	28418.27405	-0.02105636	0.021056358
83	3628	1409	8168	1423.334121	6785.905478	1910185.269	0.169208438	0.169208438	7131.884125	1073536.106	0.126850621	0.126850621
84	2913	1137	8163	146.716909	8074.042665	7913.40738	0.010897628	0.010897628	8440.85761	77204.85143	-0.03403866	0.034038663

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
85	3208	944	8230	168.4926012	8117.385669	12681.98746	0.013683394	0.013683394	8463.508285	54526.11916	-0.02837282	0.028372817
86	3803	1085	8108	945.3368151	7206.173932	813290.2565	0.111226698	0.111226698	7531.57498	332265.8037	0.071093367	0.071093367
87	3011	835	7984	-491.456887	8536.437429	305187.1131	-0.06919306	0.069193065	8886.951316	815321.0791	-0.1130951	0.113095105
88	3567	800	8006	59.12079854	7998.998883	49.01563384	0.000874484	0.000874484	8323.541068	100832.3299	-0.03966289	0.039662886
89	3204	973	8078	66.3651094	8067.112129	118.5457369	0.001347842	0.001347842	8414.560837	113273.197	-0.04166388	0.041663882
90	2821	1015	8000	-342.34244	8403.634235	162920.5957	-0.05045428	0.050454279	8769.682486	592411.1293	-0.09621031	0.096210311
91	3496	1304	7920	838.2866966	7126.88846	629025.9146	0.100140346	0.100140346	7474.542781	198432.134	0.056244598	0.056244598
92	2821	1474	7933	447.647814	7539.223212	155060.159	0.049637815	0.049637815	7923.460906	90.99431434	0.001202457	0.001202457
93	2678	1637	8004	670.2278165	7387.432443	380155.5518	0.077032428	0.077032428	7784.452615	48201.05426	0.027429708	0.027429708
94	2355	1117	7903	-746.686663	8717.230206	662970.8281	-0.10302799	0.10302799	9107.925724	1451846	-0.15246435	0.152464346
95	2690	1628	7637	299.2426225	7391.359688	60339.16268	0.032164503	0.032164503	7787.492599	22648.02235	-0.01970572	0.019705722
96	2209	1190	7386	-1283.3486	8738.187293	1828410.475	-0.18307437	0.183074369	9138.231382	3070314.816	-0.23723685	0.237236851
97	2138	944	5208	-3996.49357	9278.513182	16569077.57	-0.78158855	0.781588553	9671.948095	19926832.59	-0.85713289	0.857132891
98	3471	886	4483	-3405.85851	7941.215446	11959254.07	-0.77140652	0.771406524	8273.410516	14367211.88	-0.84550759	0.845507588
99	3593	819	5291	-2592.63116	7935.00285	6990751.071	-0.49971704	0.499717038	8259.14833	8809904.509	-0.5609806	0.560980595
100	4425	943	5436	-1327.36123	6798.622018	1856738.763	-0.2506663	0.250666302	7090.892794	2738670.16	-0.30443208	0.304432081
101	3911	888	5211	-2204.11135	7459.975953	5057892.838	-0.43158241	0.431582413	7772.794756	6562792.372	-0.49161289	0.491612887
102	3419	1061	5624	-1993.6663	7668.0756	4178245.058	-0.36345583	0.363455832	8009.504932	5690633.781	-0.42416517	0.424165173
103	5101	1318	5529	187.9050948	5358.831713	28957.24584	0.030777408	0.030777408	5636.072386	11464.49584	-0.0193656	0.019365597
104	3403	1505	5461	-1344.77365	6849.275957	1927310.133	-0.25421644	0.254216436	7209.00778	3055531.199	-0.32008932	0.320089321
105	4076	1637	5308	-532.412677	5870.370516	316260.5967	-0.10594772	0.105947723	6205.575181	805641.2055	-0.16909856	0.169098565

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
106	3597	1600	5192	-1229.16793	6459.845173	1607431.383	-0.24419206	0.24419206	6814.763578	2633361.63	-0.31255077	0.312550766
107	3933	1688	4946	-951.945765	5929.50357	967279.2721	-0.19884828	0.198848275	6273.05233	1761067.887	-0.26830819	0.268308195
108	4021	1645	5418	-466.227653	5914.988653	246997.7209	-0.09172917	0.091729172	6252.942286	697128.621	-0.15410526	0.154105258
109	3802	1095	4753	-2392.06058	7188.426614	5931302.792	-0.51239777	0.512397773	7514.268163	7624601.868	-0.5809527	0.580952696
110	4343	1028	5107	-1585.25267	6727.529506	2626115.88	-0.31731535	0.317315353	7026.7945	3685610.922	-0.37591433	0.375914333
111	4350	994	5542	-1206.25595	6783.963791	1542474.058	-0.22410029	0.224100287	7081.571899	2370281.632	-0.27780078	0.277800776
112	4783	1177	4426	-1518.04457	5969.452496	2382245.608	-0.34872402	0.348724016	6255.1666	3345850.451	-0.41327759	0.413277587
113	4036	1074	4577	-2357.30783	6974.04601	5745829.575	-0.52371554	0.523715536	7288.708561	7353363.32	-0.59246418	0.592464182
114	4334	1321	4208	-1946.81179	6185.504213	3910522.913	-0.46993921	0.469939214	6496.778287	5238506.047	-0.54391119	0.54391119
115	4586	1470	4804	-803.427428	5631.438392	684654.2929	-0.17223947	0.172239465	5937.474391	1284764.195	-0.23594388	0.235943878
116	3987	1973	4697	-611.144219	5334.178813	405996.8392	-0.13565655	0.135656549	5686.633948	979375.351	-0.2106949	0.210694901
117	4445	1925	4413	-495.523304	4927.568754	264781.0031	-0.11660294	0.116602936	5257.870294	713805.8137	-0.19145033	0.191450327
118	3739	1291	4514	-2332.40999	6887.675376	5634334.79	-0.52584745	0.525847447	7224.069772	7344478.169	-0.60036991	0.60036991
119	5209	1525	4623	-216.242276	4851.801374	52350.06862	-0.04949197	0.049491969	5132.469682	259559.3569	-0.11020326	0.110203262
120	4579	1398	4735	-1014.33475	5774.62844	1080827.292	-0.2195625	0.2195625	6078.120712	1803973.247	-0.28365802	0.283658017
121	4349	1054	4832	-1805.29929	6672.054052	3385798.914	-0.38080589	0.380805888	6972.084082	4579959.878	-0.4428982	0.442898196
122	4643	1110	4678	-1540.6886	6247.553366	2463497.769	-0.33551803	0.335518035	6536.80276	3455147.701	-0.39734988	0.397349885
123	4796	1205	4582	-1295.87955	5902.614384	1744022.351	-0.28821789	0.288217893	6188.863261	2582009.54	-0.35069037	0.350690367
124	4605	1074	4169	-2157.49555	6356.586613	4785535.19	-0.52472694	0.52472694	6646.089634	6135973.055	-0.59416878	0.594168778
125	4346	956	4172	-2651.47788	6859.867894	7224633.818	-0.64426364	0.644263637	7156.146991	8905133.264	-0.71527972	0.71527972
126	5431	1175	4046	-1209.57776	5270.03149	1498253.088	-0.30252879	0.302528791	5527.013656	2193401.449	-0.36604391	0.366043909

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
127	5349	1181	8182	2850.03139	5347.715603	8033168.042	0.34640484	0.34640484	5608.561342	6622586.526	0.314524402	0.314524402
128	4786	1518	4221	-1083.16526	5324.009288	1216629.49	-0.26131469	0.261314686	5623.104031	1965895.714	-0.33217343	0.332173426
129	5295	1457	3587	-1287.33762	4886.537999	1688799.01	-0.36229105	0.362291051	5160.708904	2476559.715	-0.43872565	0.438725649
130	6254	1369	4121	106.773953	4011.589761	11970.6003	0.026549439	0.026549439	4239.869167	14129.87886	-0.02884474	0.028844738
131	6686	1619	3570	484.0115591	3071.985989	248017.9556	0.139499723	0.139499723	3291.070711	77801.54826	0.078131454	0.078131454
132	5522	1246	3825	-1200.80776	5037.570755	1470327.837	-0.31701196	0.317011962	5293.342783	2156030.528	-0.38388047	0.383880466
133	3782	812	4354	-3340.80878	7743.089234	11485925.84	-0.77838522	0.778385217	8058.600283	13724063.26	-0.85084986	0.850849858
134	5812	977	3893	-1325.27129	5229.466469	1786142.622	-0.34329989	0.343299889	5461.755493	2460993.797	-0.40296827	0.402968275
135	5596	816	3639	-2110.60502	5767.065298	4528661.913	-0.58479398	0.584793981	6002.525041	5586250.619	-0.6494985	0.6494985
136	7033	839	3822	-349.642399	4164.367186	117215.2903	-0.08957802	0.089578018	4337.19841	265429.4017	-0.13479812	0.134798119
137	7845	874	3970	731.0930803	3217.298781	566559.1248	0.189597284	0.189597284	3355.612714	377471.7372	0.154757503	0.154757503
138	3969	756	3843	-3756.6098	7645.625122	14459957.82	-0.98949392	0.989493917	7950.648382	16872775.23	-1.06886505	1.068865049
139	4961	998	4345	-1743.11047	6113.394433	3127218.869	-0.40699527	0.406995266	6384.144406	4158109.909	-0.46930826	0.469308264
140	4043	1138	4004	-2803.33715	6845.92195	8076520.371	-0.70977072	0.709770717	7162.8112	9978088.197	-0.78891389	0.788913886
141	2963	1208	4093	-3737.30976	7886.073733	14387408.34	-0.92672214	0.926722143	8253.49144	17309689.02	-1.01648948	1.01648948
142	2419	975	4219	-4627.44666	8915.200863	22054302.55	-1.11310758	1.113107576	9297.439252	25790545.24	-1.20370686	1.203706862
143	5011	1446	3722	-1476.24754	5215.440847	2230365.563	-0.40124687	0.401246869	5501.733496	3167451.317	-0.4781659	0.478165904
144	4229	941	3786	-3190.46483	7015.081031	10426964.3	-0.85290043	0.852900431	7315.939102	12460470.06	-0.93236638	0.932366377
145	6160	892	4298	-707.235631	5011.904851	509660.1361	-0.16610164	0.16610164	5225.437909	860141.0751	-0.2157836	0.215783599
146	5772	689	4199	-1599.71912	5815.248649	2612259.694	-0.38491275	0.384912753	6037.893373	3381528.837	-0.43793603	0.437936026
147	4984	790	4441	-2010.89449	6480.151288	4158137.973	-0.45916489	0.459164892	6741.641557	5292951.574	-0.51804584	0.518045836

ภาคผนวก ช-3 (ต่อ)

ลำดับที่	Adjusted S-estimator								S-estimator			
	TAIWAN	SING	Income	Residual	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}$	$\left\lvert\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right\rvert$
148	5673	809	4155	-1525.42231	5696.690263	2376808.866	-0.37104459	0.371044588	5928.46789	3145188.357	-0.42682741	0.42682741
149	6643	948	5720	1335.26701	4382.30781	1789420.395	0.233862271	0.233862271	4576.7032	1307127.573	0.199877063	0.199877063
150	4137	713	5613	-1887.43478	7544.296933	3729907.842	-0.34407571	0.344075705	7840.187698	4960365.042	-0.39679097	0.396790967
151	7621	904	6020	2597.826166	3403.87849	6844091.754	0.434571679	0.434571679	3553.285906	6084678.422	0.409753172	0.409753172
152	5640	1161	5267	208.5392851	5069.597295	38967.82808	0.037479154	0.037479154	5316.783289	2478.375864	-0.00945193	0.009451925
153	6512	1277	6621	2710.601022	3904.875814	7377330.596	0.410228695	0.410228695	4118.101393	6264501.437	0.378024257	0.378024257
154	5165	839	5644	-523.061254	6191.457087	299709.2624	-0.09699807	0.096998066	6446.885854	644625.6946	-0.14225476	0.142254758
155	6346	1566	4403	854.8643889	3540.754561	743467.1978	0.195831351	0.195831351	3772.772791	397186.335	0.143135864	0.143135864
156	5329	750	4701	-1457.04481	6181.098989	2190693.017	-0.31484769	0.31484769	6425.749222	2974759.879	-0.36688986	0.366889858

หมายเหตุ TAIWAN คือ จำนวนแรงงานไทยในไต้หวัน

SING คือ จำนวนแรงงานไทยในประเทศสิงคโปร์

Income คือ เงินรายได้นำเข้าประเทศของแรงงานไทยในต่างประเทศ

Residual คือ ส่วนเหลือ

ดังนั้น ค่า *RMSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ คือ

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2}{n}} = 1{,}627.974146$$

ค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้ คือ

$$MAPE = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{\left|Y_i - \hat{Y}_i\right|}{Y_i}\right) = 21.45\%$$

ค่า *MSE* จากวิธีตัวประมาณค่า S คือ

$$RMSE = 1{,}671.17333$$

ค่า *MAPE* จากวิธีตัวประมาณค่า S คือ

$$MAPE = 22.58\%$$

ภาคผนวก ณ

คำสั่งของโปรแกรมที่ใช้งาน

คำสั่งคำนวณค่า DMST

```
package com.main.dmst;

import com.laithailibrary.logger.*;
import com.laithailibrary.serverlibrary.server.serviceserver.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.clientinfo.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.db.dbobject.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.db.dbutilities.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.servicecall.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.session.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.support.*;
import exc.*;
import pp.*;
public class DMST {
	private static final long serialVersionUID = 1;
	private DMST() {}
	public static void main(String[] p_strings) throws GException {
		try {
			ExcDialog.setDisplay(ExcDialog.Display.Yes);
			GUtilities.setApplicationType(GUtilities.AppType.Server);
			GUtilities.setSingleClient(SingleClient.Yes);
			GLogManager.setup();
			DBObject.setDecimalSize(8);
			DBDate dbDate = DBDate.getCurrentDate();
			GLog.info("Program start at ".concat(dbDate.toString()));
			ClientInfo clientinfo = new ClientInfo(System.getProperties());
			FirstConnect firstconnect = new FirstConnect(clientinfo);
			SessionClientUtility.setClientSessionID(SessionManager.createSessionID(firstconnect));
			ClientSessionID.add(new ThreadSession(Thread.currentThread()),
SessionClientUtility.getClientSessionID());
AppClientUtilities.setSessionData(SessionManager.getSessionData(SessionClientUtility.getClientSessionID()));
			GProperties.setPPProperty("DBConnectionString", "DMST.db");
			GProperties.setPPProperty("DBType", "SQLite");
			new DBUtilities(SessionClientUtility.getClientSessionID());
			Register.init();
			for(String strProgramParameter : p_strings) {
			if(strProgramParameter.compareTo(ProgramParameter.CreateNewDB) == 0) {
				GLog.info("Creating DataBase . . .");
CreateDataBase.createNewDB(SessionClientUtility.getClientSessionID());
		System.exit(ProgramExit.CreateDBComplete);}}

//			CacheDataTable.readCatchDataTable();
			new MainDialog(GUtilities.getProName());
		} catch(Exception exception) {
		  ExceptionHandler.display(exception);
		  throw new GException(exception);} } }
```

```
package com.main.dmst;

import javax.swing.*;
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import java.util.List;
import com.databean.DBDataTable.Master.MainData.*;
import com.laithailibrary.clientlibrary.ui.dataloading.*;
import com.laithailibrary.clientlibrary.ui.swing.*;
import com.laithailibrary.logger.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.bean.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.collection.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.sqlstatement.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.sqlstatement.support.*;
import com.ui.*;
import com.ui.master.*;
import exc.*;
import msg.*;
```

```
import pp.*;
public class MainDialog extends GFrame {
	private MainDialog me;
	private static final String PATH_ICON_PROGRAM = "images/Icon.png";
	public MainDialog(String p_strTitle) throws GException {
		super(p_strTitle);
		try {
			me = this;
			buildMenuBar();
			buildMainLayout();
			registerListener();
			setDefaultCloseOperation(JFrame.DO_NOTHING_ON_CLOSE);
			setIconImage(new
ImageIcon(ClassLoader.getSystemResource(PATH_ICON_PROGRAM)).getImage());
			setResizable(false);
			setSize(new Dimension(800, 600));
			setLocationRelativeTo(null);
			setVisible(true);
		} catch(Exception exception) {
			ExceptionHandler.display(exception);
			throw new GException(exception); } }

	private void buildMenuBar() throws GException {
		try {
			JMenu menu = new JMenu("Menu");
			menu.add(getMenuDisplayData());
			menu.add(getMenuFunction());
//			menu.add(getMenuTransaction());
			menu.add(getMenuReport());
			menu.add(getMenuDataLoading());
			menu.add(getMenuDataDeleting());
			menu.addSeparator();
			JMenuItem mi = new JMenuItem("Exit");
			menu.add(mi);
			mi.addActionListener(new ActionListener() {
				public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
					try {
						confirmExitProgram();

					} catch(Exception exception) {
						ExceptionHandler.display(exception); }}
			});

			JMenuBar menubar = new JMenuBar();
			menubar.add(menu);
			menu = new JMenu("Help");
			mi = new JMenuItem("About");
			menu.add(mi);
			mi.addActionListener(new ActionListener() {
				public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {} });

			menubar.add(menu);
			me.setJMenuBar(menubar);
		} catch (Exception exception) {
			ExceptionHandler.display(exception);
			throw new GException(exception); } }

	private JMenu getMenuDisplayData() throws GException {
		try {
			JMenu menu = new JMenu("Display Data");
			JMenuItem mi = new JMenuItem("Main Data");
			menu.add(mi);
			mi.addActionListener(new ActionListener() {
				public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
					try {
						OnOpenDialog_UIMainData onOpenDialog = new
OnOpenDialog_UIMainData();
						me.executeProcess_WithDialogWaiting(onOpenDialog);
```

```
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception);} } });

                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); }}

        private JMenu getMenuFunction() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Function");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Calculate");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                new UICalculator(me);
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception); }}});
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception);}}

//      private JMenu getMenuTransaction() throws GException {
//              try {
//                      JMenu menu = new JMenu("Transaction");
//
//                      JMenuItem mi = new JMenuItem("Transaction");
//                      menu.add(mi);
//
//                      mi.addActionListener(new ActionListener() {
//                              public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
//                                      try {
//
//                                      } catch (Exception exception) {
//                                              ExceptionHandler.display(exception);
//                                      }
//                              }
//                      });
//
//                      return menu;
//
//              } catch (Exception exception) {
//                      ExceptionHandler.display(exception);
//                      throw new GException(exception);
//              }
//      }

        private JMenu getMenuReport() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Report");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Report");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception);} } });
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); } }
        private JMenu getMenuDataLoading() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Data Loading");
```

```
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Data Loading");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                List<DBDataTable> lsDBDataTables = new GList<>();
                                                lsDBDataTables.add(new BEANMainData());
                                                new UIDLDataLoader(me, lsDBDataTables);
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception);}}              });
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); }}
        private JMenu getMenuDataDeleting() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Data Deleting");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Delete MainData");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                OnDelete_MainData onDelete = new
OnDelete_MainData();
                                                me.executeProcess_WithDialogWaiting(onDelete);
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception); }}});
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); }}
        private void buildMainLayout() throws GException {
                try {
                        Container paneMain = getContentPane();
                        paneMain.setLayout(new BorderLayout());
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); }}

        private void confirmExitProgram() throws GException {
                try {
                        int intConfirmDialog = JOptionPane.showConfirmDialog(me, "Exit to
program","Program", JOptionPane.YES_NO_OPTION, JOptionPane.QUESTION_MESSAGE);
                        if(intConfirmDialog == JOptionPane.OK_OPTION) {
                                GLog.info("Program Exit " + ProgramExit.Normal);
                                System.exit(ProgramExit.Normal);}
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception);} }

        private void registerListener() {
                me.addWindowListener(new WindowAdapter() {
                        @Override
                        public void windowClosing(final WindowEvent p_event) {
                                try {
                                        confirmExitProgram();
                                } catch(Exception exception) {
                                        ExceptionHandler.display(exception); } } });}
        private class OnOpenDialog_UIMainData implements Runnable {
                public void run() {
                        try {
                                new UIMainData(me);
                        } catch(Exception exception) {
                          ExceptionHandler.display(exception);} } }
        private class OnDelete_MainData implements Runnable {
                public void run() {
                        try {
                          DTQMainData dtqMainData = new DTQMainData();
```

```
                                        dtqMainData.deleteAllData(SQLStatement.EmptyStatement,
TransactionBegin.Yes);

                                        new MsgDialog("SUCCESSFUL", ExcDialog.MessageType.Message);

                                } catch(Exception exception) {
                                  ExceptionHandler.display(exception); } } } }
package com.main.dmst;
import com.databean.DBDataTable.*;
import com.databean.DBDataTableLogic.*;
import com.laithailibrary.logger.*;
import exc.*;
public class Register {
        private Register() {}
        public static void init() throws GException {
                try {
                        RegisterDataTable.init();
                        GLog.info("Register DataTable complete.");
                        RegisterDataLogic.init();
                        GLog.info("Register DataLogic complete.");
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); } } }
```

คำสั่งคำนวณค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย

```
package com.main.dmst_n2;

import com.laithailibrary.logger.*;
import com.laithailibrary.serverlibrary.server.serviceserver.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.clientinfo.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.db.dbobject.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.db.dbutilities.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.servicecall.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.session.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.support.*;
import exc.*;
import pp.*;
public class DMST_N2 {
        private static final long serialVersionUID = 1;
        private DMST_N2() {}
        public static void main(String[] p_strings) throws GException {
                try {
                        ExcDialog.setDisplay(ExcDialog.Display.Yes);
                        GUtilities.setApplicationType(GUtilities.AppType.Server);
                        GUtilities.setSingleClient(SingleClient.Yes);
                        GLogManager.setup();
                        DBObject.setDecimalSize(10);
                        DBDate dbDate = DBDate.getCurrentDate();
                        GLog.info("Program start at ".concat(dbDate.toString()));
                        ClientInfo clientinfo = new ClientInfo(System.getProperties());
                        FirstConnect firstconnect = new FirstConnect(clientinfo);
                        SessionClientUtility.setClientSessionID(SessionManager.createSessionID(firstconnect));
                        ClientSessionID.add(new                 ThreadSession(Thread.currentThread()),
SessionClientUtility.getClientSessionID());
        AppClientUtilities.setSessionData(SessionManager.getSessionData(SessionClientUtility.getClientSessionID())
);
                        GProperties.setPPProperty("DBConnectionString", "DMST_N2.db");
                        GProperties.setPPProperty("DBType", "SQLite");
                        new DBUtilities(SessionClientUtility.getClientSessionID());
                        Register.init();
                        for(String strProgramParameter : p_strings) {
                                if(strProgramParameter.compareTo(ProgramParameter.CreateNewDB)==0){
                                        GLog.info("Creating DataBase . . .");
```

```
		CreateDataBase.createNewDB(SessionClientUtility.getClientSessionID());

                                                System.exit(ProgramExit.CreateDBComplete); }}
                                new MainDialog(GUtilities.getProName());
                        } catch(Exception exception) {
                                ExceptionHandler.display(exception);
                                throw new GException(exception); } } }
package com.main.dmst_n2;
import javax.swing.*;
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import java.util.List;
import com.databean.DBDataTable.master.InputData.*;
import com.laithailibrary.clientlibrary.ui.dataloading.*;
import com.laithailibrary.clientlibrary.ui.swing.*;
import com.laithailibrary.logger.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.bean.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.collection.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.sqlstatement.*;
import com.laithailibrary.sharelibrary.sqlstatement.support.*;
import com.ui.*;
import com.ui.master.InputData.*;
import exc.*;
import msg.*;
import pp.*;
public class MainDialog extends GFrame {
		private MainDialog me;
		private static final String PATH_ICON_PROGRAM = "images/Icon.png";
		public MainDialog(String p_strTitle) throws GException {
                        super(p_strTitle);
                        try {
                                me = this;
                                buildMenuBar();
                                buildMainLayout();
                                registerListener();
                                setDefaultCloseOperation(JFrame.DO_NOTHING_ON_CLOSE);
                                setIconImage(new
ImageIcon(ClassLoader.getSystemResource(PATH_ICON_PROGRAM)).getImage());
                                setResizable(false);
                                setSize(new Dimension(800, 600));
                                setLocationRelativeTo(null);
                                setVisible(true);
                        } catch(Exception exception) {
                                ExceptionHandler.display(exception);
                                throw new GException(exception);}}
		private void buildMenuBar() throws GException {
                        try {
                                JMenu menu = new JMenu("Menu");
                                menu.add(getMenuDisplayData());
                                menu.add(getMenuFunction());
//                              menu.add(getMenuTransaction());
//                              menu.add(getMenuReport());
                                menu.add(getMenuDataLoading());
                                menu.add(getMenuDataDeleting());
                                menu.addSeparator();
                                JMenuItem mi = new JMenuItem("Exit");
                                menu.add(mi);
                                mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                        public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                                try {
                                                        confirmExitProgram();

                                                } catch(Exception exception) {
                                                        ExceptionHandler.display(exception);
                                                }
                                        }
                                });
```

```
                        JMenuBar menubar = new JMenuBar();
                        menubar.add(menu);

                        menu = new JMenu("Help");
                        mi = new JMenuItem("About");
                        menu.add(mi);

                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {}
                        });

                        menubar.add(menu);

                        me.setJMenuBar(menubar);

                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception);} }
        private JMenu getMenuDisplayData() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Display Data");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Main Data");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                OnOpenDialog_UIInputData onOpenDialog = new
OnOpenDialog_UIInputData();
                                                me.executeProcess_WithDialogWaiting(onOpenDialog);
                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception); } }});

                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception);} }
        private JMenu getMenuFunction() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Function");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Calculate");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                new UICalculator(me);

                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception);}}});
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); }}

//      private JMenu getMenuReport() throws GException {
//              try {
//                      JMenu menu = new JMenu("Report");
//
//                      JMenuItem mi = new JMenuItem("Report");
//                      menu.add(mi);
//
//                      mi.addActionListener(new ActionListener() {
//                              public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
//                                      try {
//
//                                      } catch(Exception exception) {
//                                              ExceptionHandler.display(exception);
//                                      }
```

```
//                                      }
//                              });
//
//                              return menu;
//
//                      } catch (Exception exception) {
//                              ExceptionHandler.display(exception);
//                              throw new GException(exception);
//                      }
//      }

        private JMenu getMenuDataLoading() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Data Loading");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Data Loading");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                List<DBDataTable>       lsDBDataTables      =       new
GList<DBDataTable>();
                                                lsDBDataTables.add(new BEANInputData());

                                                new UIDLDataLoader(me, lsDBDataTables);

                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception);} } });
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); } }

        private JMenu getMenuDataDeleting() throws GException {
                try {
                        JMenu menu = new JMenu("Data Deleting");
                        JMenuItem mi = new JMenuItem("Delete InputData");
                        menu.add(mi);
                        mi.addActionListener(new ActionListener() {
                                public void actionPerformed(final ActionEvent p_event) {
                                        try {
                                                OnDelete_InputData      onDelete        =       new
OnDelete_InputData();                   me.executeProcess_WithDialogWaiting(onDelete);

                                        } catch(Exception exception) {
                                                ExceptionHandler.display(exception); } } })
                        return menu;
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); } }
        private void buildMainLayout() throws GException {
                try {
                        Container paneMain = getContentPane();
                        paneMain.setLayout(new BorderLayout());
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception); } }
        private void confirmExitProgram() throws GException {
                try {
                        int     intConfirmDialog        =       JOptionPane.showConfirmDialog(me,       "Exit       to
program","Program", JOptionPane.YES_NO_OPTION, JOptionPane.QUESTION_MESSAGE);
                        if(intConfirmDialog == JOptionPane.OK_OPTION) {
                                GLog.info("Program Exit " + ProgramExit.Normal);
                                System.exit(ProgramExit.Normal);}
                } catch (Exception exception) {
                        ExceptionHandler.display(exception);
                        throw new GException(exception);} }

        private void registerListener() {
```

```
		me.addWindowListener(new WindowAdapter() {
			@Override
			public void windowClosing(final WindowEvent p_event) {
				try {
					confirmExitProgram();
				} catch(Exception exception) {
					ExceptionHandler.display(exception);
				}
			}
		});
	}

	private class OnOpenDialog_UIInputData implements Runnable {

		public void run() {
			try {
				new UIInputData(me);

			} catch(Exception exception) {
				ExceptionHandler.display(exception);
			}
		}
	}

	private class OnDelete_InputData implements Runnable {
		public void run() {
			try {
				DTQInputData dtqInputData = new DTQInputData();
				dtqInputData.deleteAllData(SQLStatement.EmptyStatement,
TransactionBegin.Yes);

				new MsgDialog("SUCCESSFUL", ExcDialog.MessageType.Message);

			} catch(Exception exception) {
				ExceptionHandler.display(exception);
			}
		}
	}
}
package com.main.dmst_n2;
import com.databean.DBDataTable.*;
import com.databean.DBDataTableLogic.*;
import com.laithailibrary.logger.*;
import exc.*;
public class Register {
	private Register() {}
	public static void init() throws GException {
		try {
			RegisterDataTable.init();
			GLog.info("Register DataTable complete.");
			RegisterDataLogic.init();
			GLog.info("Register DataLogic complete.");
		} catch (Exception exception) {
			ExceptionHandler.display(exception);
			throw new GException(exception);
		}
	}}
```