สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตโลชั่นด้วยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง

ประพัฒศร สุขมั่น

31 ส.ค. 2559
365490 TH 00LA515

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ประพัฒศร สุขมั่น ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

.....กรรมการ
(ดร. ฤฎูวัลย์ จันทรสา)

.....กรรมการ
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 29 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555

ประกาศคุณูปการ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรหาญ ลิลา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงานทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากหัวหน้างาน ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประมวล คุณแม่ศรีเรือน สุขมั่น พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้องชายของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนดราบเท่าทุกวันนี้

ประพัฒศร สุขมั่น

52920460: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง/ โลชั่น/ ความหนืด

ประพัฒศร สุขมั่น: การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตโลชั่นด้วยการออกแบบการทดลอง (A STUDY FOR THE SUITBLE FACTORS IN A LOTION PRODUCTION WITH DESIGN OF EXPERIMENT ADHESIVE PRODUCT VISCOSITY IMPROVEMENT.) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรหาญ ลิลา, 128 หน้า. ปี พ.ศ. 2555.

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบการทดลองเพื่อชี้ปัจจัยที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของโลชั่นชนิดที่เลือกศึกษา ด้วยการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล ทดลองซ้ำ 16 ครั้ง พิจารณา 3 ปัจจัยคือ ความเร็วรอบของใบปาด (A) ชนิดของเครื่อง Homogenizer (B) และ ความเร็วรอบของใบกวน(C) ผลการทดลองบ่งชี้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของโลชั่นที่ระดับ α= 0.05 คือ ปัจจัย A และ B โดยระดับที่เหมาะสมของปัจจัย B คือเครื่อง Homogenizer ชนิด Silverson และมีสมการความสัมพันธ์คือ ค่าความหนืด (Y) = 23,420 + 155A โดยค่าของปัจจัย A ที่เหมาะสมคือ 15 rpm ส่งผลให้มีค่าความหนืดเท่ากับ 25,745 cps ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของข้อกำหนด และเมื่อทำการผลิตจริงด้วยค่าของปัจจัย A =15 rpm และ B =Silverson จำนวน 20 ถัง ทำการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่าความหนืดที่ได้ของโลชั่นมีค่าไม่แตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการด้วย และอยู่ภายใต้การควบคุมของแผนภูมิค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย จึงสามารถสรุปได้ว่าผลการศึกษานี้สามารถบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลและระดับที่เหมาะสมนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานการปรับตั้งค่าสำหรับการผลิตจริงต่อไป

52920460: MAJOR: MASTER OF INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORD: DESIGN OF EXPERIMENT /VISCOSITY/ LOTION

PRAPATSORN SUKMUN: A STUDY FOR THE SUITBLE FACTORS IN A LOTION PRODUCTION WITH DESIGN OF EXPERIMENT ADHESIVE PRODUCT VISCOSITY IMPROVEMENT. ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR BANHAN LILA, Ph.D. 128 P. 2012.

This research presents an application of the design of experiment in identifying of factors that significantly affect the viscosity of a lotion product . The 2^3 factorial design with 16 replications was performed. The scrapper speeds (A), type of homogenizer's machine (B) and speed of mixer paddle (C) were considered. Analysis of the experimental result indicated that A and B were factors significantly affected on the viscosity (α= 0.05). The appropriate type of homogenizer was identified to be Silverson. Thus, the relationship couled be expressed as Viscosity (Y) = 23,420 + 155A. The 20 batches of confirmation experiment having expected Y = 25,745 cps were performed with A = 15 rpm and B = Silverson C = 3 rpm adhesive production process. Result of this experiment confirmed that there was no significant difference between the Y_1 value from the expected ones and in statistical control. Therefore, it can be concluded that the process characterized in this study is suitable for the real production.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์โลชั่นชนิด A 5

2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ทฤษฎีอิมัลชั่น (Emulsion) 6

ส่วนประกอบของอิมัลชั่น 8

ความหนืด 11

ทฤษฎีการวิจัยเชิงทดลอง 12

ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง 14

วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ (Response Surface Methodology : RSM) 39

การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) 47

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) 47

การวิเคราะห์ระบบการวัด 50

การสำรวจงานวิจัย 54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	59
ศึกษาปัญหาในงานวิจัย (Recognition of and Statement of the Problem)	60
ศึกษากระบวนการทำงาน และขั้นตอนการผสม	61
กำหนดปัจจัยระดับ และขอบเขต	67
ทำการออกแบบแผนการทดลอง	75
ทำการทดลองและเก็บข้อมูล (Performing The Experiment and Collect Data)	86
4 ผลดำเนินการวิจัย	89
การวิเคราะห์ระบบการวัด	89
การวิเคราะห์และดีความผลการทดลองของระบบการวัด	90
การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยจากแบบจำลอง	95
การวิเคราะห์ผลการทดลอง	101
การทดสอบเพื่อยืนยันสมมติฐาน	107
สรุปผลการทดลอง	108
ประยุกต์ใช้จริง	109
ทำการติดตามผล	110
5 อภิปรายและสรุปผล	114
สรุปกระบวนการวิจัย	114
สรุปผลการวิจัย	114
สิ่งที่ค้นพบจากการวิจัย	117
ข้อดีของการศึกษา	117
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	121
ภาคผนวก ก	122
ประวัติย่อของผู้วิจัย	128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แสดงปริมาณความต้องการสินค้าในกลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554	1
1-2	แสดงความต้องการสินค้าประเภทโลชั่นในปี 2554 เทียบกับกำลังการผลิต	3
2-1	พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง	14
2-2	รูปแบบและลักษณะการทดลอง	19
2-3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (Anova Table)	28
2-4	เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์สำหรับผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^3	33
2-5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน	34
2-6	ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k	36
2-7	เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรในสมการคอนทราสต์สำหรับการทดลองแบบ 2^4	37
2-8	แสดงข้อดีข้อเสียของการประเมินผลทั้ง 3 วิธี	53
3-1	แสดงความต้องการสินค้าประเภทโลชั่นในปี 2554 เทียบกับกำลังการผลิต	61
3-2	ข้อมูลค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A จำนวน 50 batch ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือน ธันวาคม 2553	65
3-3	แสดงขั้นตอนการผลิตโลชั่น และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	71
3-4	แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab	79
3-5	ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	82
3-6	แบบแผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^3 Factorial Design	85
4-1	แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab	91
4-2	ตารางบันทึกผลการทดลองแต่ละ Treatment	96
4-3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร	105
4-4	ค่าความหนืดที่ได้จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ	107
4-5	แสดงระดับปัจจัยที่ใช้ในการควบคุม	109
4-6	แสดงค่าความหนืดของกาวจากการผลิตจริง	109
5-1	แสดงจุดเหมาะสมในการปรับค่าปัจจัย	115
5-2	เปรียบเทียบความสามารถปัจจุบันของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง	116

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	แสดงการเจริญเติบโตของสินค้ากลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554	2
1-2	แสดงปริมาณความต้องการผลิตที่สูงขึ้นแต่กำลังการผลิตไม่เพียงพอ	3
2-1	แสดงลักษณะของการเกิดอิมัลชั่น	10
2-2	แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ	15
2-3	แสดงอิทธิพลที่มีผลและอิทธิพลที่ไม่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์	16
2-4	แสดงปัจจัยและตัวแปรของกระบวนการ	22
2-5	แสดงอิทธิพลของปัจจัย A ไม่มีผลและอิทธิพลของปัจจัย A ที่มีผลต่อตัวแปรตาม	23
2-6	แสดงรูปแบบการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย	25
2-7	แสดงการออกแบบการทดลอง 2^3	30
2-8	แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Contour Plot และ Response Surface สำหรับการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design	35
2-9	แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot of Residual)	38
2-10	แสดงภาพพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ	40
2-11	แสดงกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง	40
2-12	แสดงวิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง	42
2-13	แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีผลตอบสนองสูงสุด)	43
2-14	แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีค่าผลตอบสนองต่ำสุด)	44
2-15	แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสองที่เรียกว่าจุดอานม้า (Saddle Point)	45
2-16	แสดงรูปแบบกราฟ Residual Plot	49
3-1	ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย	59
3-2	ผังกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A	63
3-3	แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ของบริษัทต้นแบบ	66
3-4	แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram)	68
3-5	แสดงของเครื่องจักรที่ใช้ในการผสมที่บริษัทรับจ้างผลิต	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-6 แสดงรูปของเครื่องจักรที่ใช้ในบริษัทต้นแบบ 74

3-7 แสดงเครื่อง Viscometer ที่ใช้ในการวัดค่าความหนืด 77

3-8 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความหนืด 78

3-9 แสดงตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer 78

3-10 แสดงรูปของใบปาดถังผสม 83

3-11 แสดงรูปของใบกวนในถังผสม 83

3-12 แสดงรูปของ Homogenizer Silverson 84

3-13 แสดงรูปของ Homogenizer Siemens 84

4-1 แสดงเครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-I-prime 89

4-2 แสดงภาพเพื่อการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) ในการทดลองเบื้องต้น 92

4-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองเบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม
สำเร็จรูปทางสถิติ 93

4-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองเบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม
สำเร็จรูปทางสถิติ 97

4-5 แสดงผลการทดสอบความปกติของข้อมูลที่ได้จากทดลอง 98

4-6 แสดงผลการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิควบคุม I 99

4-7 แสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 100

4-8 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 101

4-9 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A 102

4-10 กราฟค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดต่อปัจจัยหลักในการทดลองเบื้องต้น 103

4-11 กราฟค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดต่อปัจจัยร่วมในการทดลองเบื้องต้น 104

4-12 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานแบบ T test ของค่าเฉลี่ยของความหนืด 108

4-13 แสดง X-MR Chart ของการผลิต 111

4-14 แผนผังการตรวจติดตามค่าความหนืดของกระบวนการ 112

4-15 การวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการของโลชั่นชนิด A
ที่บริษัทรับจ้างผลิต 113

5-1 แสดงเอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต 116

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาพการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรงทั้งภายในประเทศ และระหว่างประเทศในปัจจุบัน สิ่งสำคัญ ต้องคำนึงถึงความต้องการของลูกค้า การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า อีกทั้งยังต้องตระหนักถึงคุณภาพของสินค้า องค์กรต่าง ๆ จึงได้ค้นหาแนวทางในการจัดการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ และตอบสนองความพึงพอใจลูกค้า

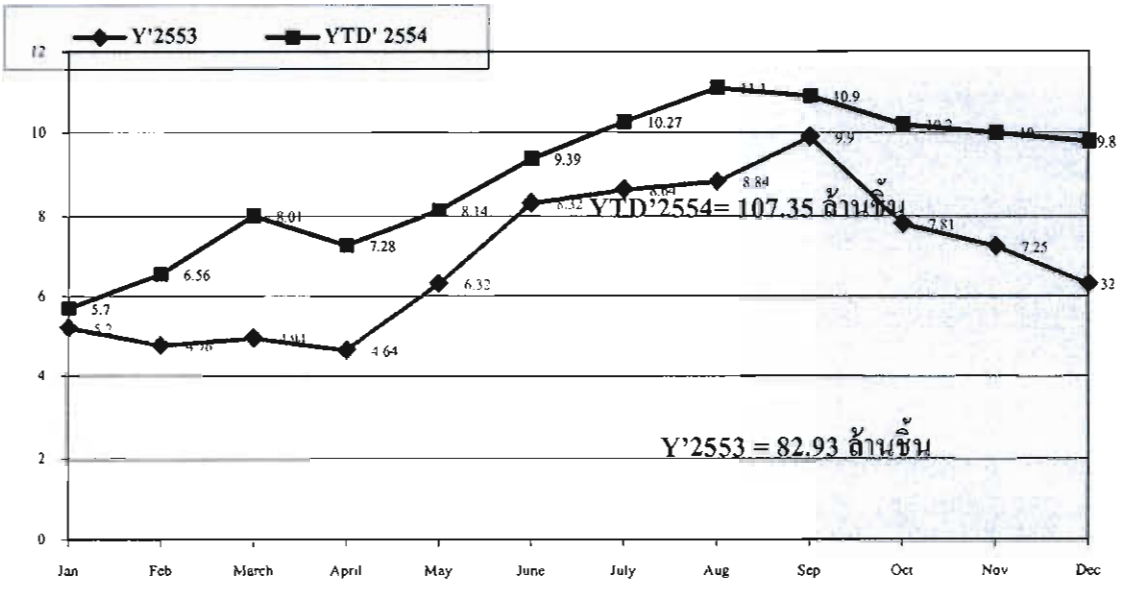
บริษัทที่ทำการศึกษาได้ประสบปัญหาเรื่องปริมาณการผลิตที่ไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการของลูกค้าโดยเฉพาะสินค้ากลุ่มโลชั่น ทางบริษัทจึงมีนโยบายเพื่อตอบสนองการผลิตให้ทันกับความต้องการของลูกค้าโดยการจ้างบริษัทรับจ้างผลิต (Subcontract) ในการผลิตสินค้ากลุ่มโลชั่น ซึ่งในอนาคตข้างหน้าทางบริษัทมีนโนบายในการเพิ่มพื้นที่การผลิต แต่ในระหว่างช่วงปี 2554 จนถึงปี 2557 ทางบริษัทจะดำเนินนโยบายจ้างบริษัทรับจ้างผลิตเพื่อผลิตสินค้าในส่วนที่กำลังการผลิตของบริษัทยังไม่เพียงพอ ดามตารางที่ 1-1 และภาพที่ 1-1 แสดงการเจริญเติบโตของสินค้ากลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554

ตารางที่ 1-1 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าในกลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554

เดือน	ความต้องการสินค้ากลุ่มโลชั่น ปี 2553 (ล้านชิ้น)	ความต้องการสินค้ากลุ่มโลชั่น ปี 2554 (ล้านชิ้น)
มกราคม	5.20	5.7
กุมภาพันธ์	4.76	6.56
มีนาคม	4.94	8.01
เมษายน	4.64	7.28
พฤษภาคม	6.32	8.14
มิถุนายน	8.32	9.39
กรกฎาคม	8.54	10.27
สิงหาคม	8.84	11.40
กันยายน	9.90	10.90

ตารางที่ 1-1 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าในกลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554 (ต่อ)

เดือน	ความต้องการสินค้ากลุ่มโลชั่น ปี 2553 (ล้านชิ้น)	ความต้องการสินค้ากลุ่มโลชั่น ปี 2554 (ล้านชิ้น)
ตุลาคม	7.81	10.20
พฤศจิกายน	7.25	10.00
ธันวาคม	6.32	9.80

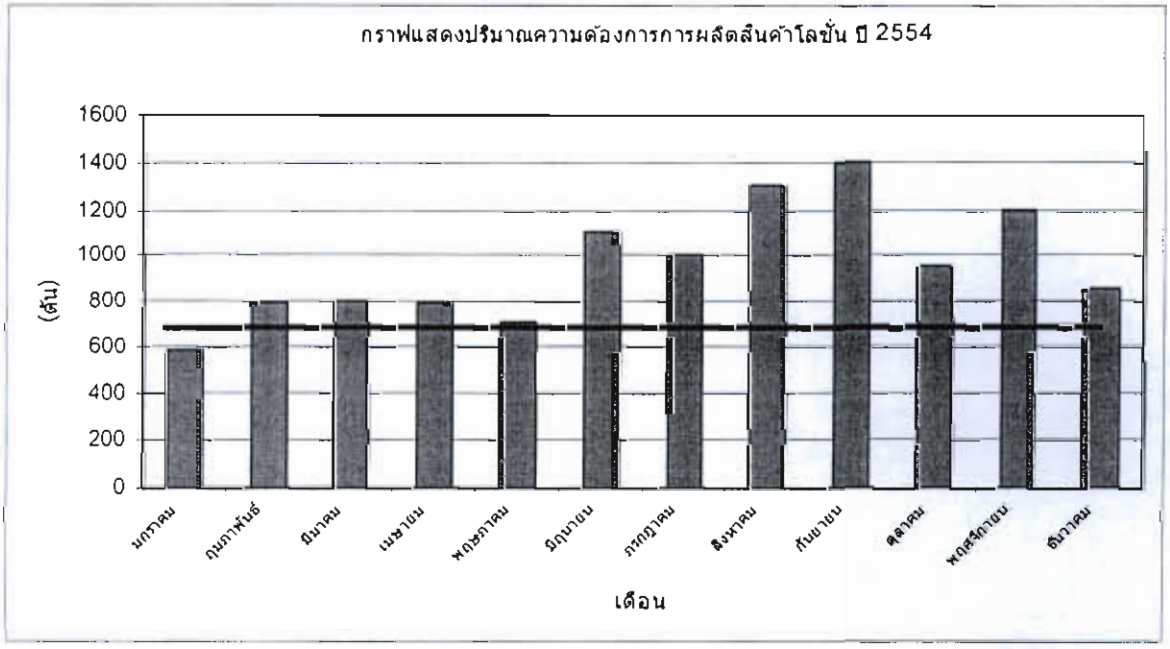


ภาพที่ 1-1 แสดงการเจริญเติบโตของสินค้ากลุ่มโลชั่นที่เพิ่มขึ้นของปี 2554

ซึ่งจากข้อมูลพบว่าการเติบโตของสินค้ากลุ่มโลชั่นมีสูงมาก แต่กำลังการผลิตของบริษัทยังมีไม่เพียงพอ และเมื่อเปรียบเทียบความต้องการสินค้าโลชั่นกับกำลังการผลิตในส่วนของการผสมที่สามารถทำได้ พบว่าบริษัทจะต้องทำการว่าจ้างบริษัทรับจ้างผลิต เพื่อให้ได้สินค้าโลชั่นทันต่อความต้องการของลูกค้า ตามตารางที่ 1-2 และภาพ ที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 แสดงความต้องการผลิตสินค้าประเภทโลชั่นในปี 2554 เทียบกับกำลังการผลิต

ลำดับ	เดือน	ปริมาณความต้องการ (ตัน)	กำลังการผลิต (ตัน)	ส่วนที่ไม่สามารถผลิตได้ (ตัน)
1	มกราคม	580		-
2	กุมภาพันธ์	790		90
3	มีนาคม	800		100
4	เมษายน	790		90
5	พฤษภาคม	700		-
6	มิถุนายน	1,100		400
7	กรกฎาคม	1,000	700	300
8	สิงหาคม	1,300		600
9	กันยายน	1,400		700
10	ตุลาคม	950		250
11	พฤศจิกายน	1,200		500
12	ธันวาคม	850		150



ภาพที่ 1-2 แสดงปริมาณความต้องการผลิตที่สูงขึ้นแต่กำลังการผลิตไม่เพียงพอ

ซึ่งในสินค้ากลุ่มโลชั่นนั้นมีด้วยกันหลายตำหรับ แต่ทางบริษัทที่ทำการศึกษาได้พิจารณาคัดเลือกสินค้าที่ต่อไปนี้ซึ่งจะเรียกว่าโลชั่นชนิด A เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีโครงสูตรมาตรฐาน (Master Ormula) ของบริษัท เพราะสามารถใช้เป็นตัวอ้างอิงการผลิตสินค้าโลชั่นตัวอื่น ๆ ได้ เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการผลิตโลชั่นตัวอื่น ๆ อีกต่อไป

ทางบริษัทได้ทำการเปรียบเทียบ และคัดเลือกบริษัทผู้รับจ้างผลิตเพื่อเป็นตัวแทนในการผลิตสินค้าโดยมีการเข้าไปประเมินความสามารถในการผลิต รวมทั้งมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินธุรกิจด้านเครื่องสำอางก่อน และได้คัดเลือกบริษัทรับจ้างผลิตรายหนึ่งเป็นตัวแทน พร้อมทั้งมอบหมายให้ผู้วิจัยเข้าไปศึกษากระบวนการทำงานในส่วนของการผสมเพื่อวิเคราะห์และหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสินค้าโลชั่นชนิด A เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาในบริษัทรับจ้างการผลิต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมโลชั่นชนิด A โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

2. เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโลชั่นชนิด A ในกระบวนการผลิตของบริษัทรับจ้างผลิต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้กระบวนการผลิตสินค้าโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต ที่มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์เทียบเท่ากับบริษัทต้นแบบ

2. สามารถสร้างความน่าเชื่อถือให้กับลูกค้าในด้านคุณภาพ และการส่งมอบผลิตภัณฑ์ซึ่งถือเป็นความได้เปรียบทางธุรกิจ

3. สามารถประยุกต์การออกแบบการทดลองกับผลิตภัณฑ์ตัวอื่น ๆ ที่มีตำหรับเดียวกันกับบริษัทรับจ้างผลิตเพื่อรองรับปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A เป็นตัวอย่างในงานวิจัยเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทางบริษัทต้นแบบมอบหมายให้ผู้วิจัยดำเนินการหากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับบริษัทรับจ้างผลิต โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือกระบวนผลิตที่เหมาะสมสำหรับโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต

นิยามศัพท์เฉพาะ

DOE	การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม
Viscosity	สมบัติของไหลที่ต้านการไหล
Batch	รุ่นผลิต
Bulk	กึ่งสำเร็จรูประหว่างกระบวนการผสม
Emulsion	ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านคุณภาพครั้งแรก
Lotion	อิมัลชั่นที่มีความหนืดต่ำ

ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์โลชั่นชนิด A

Texture	Opaque medium viscosity lotion (โลชั่นมีความข้นปานกลาง)
Color	Off white (สีขาว)
Ordor	Floral (กลิ่น floral)
pH	6.2-7.2
Viscosity	15,000-35,000 cps (TE,12) LVDE 25C
NVM (Non volatile meter)	5.3-7.3
Isoamyl p- Methoxycinnamate	0.043-0.0593

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีอิมัลชั่น (Emulsion)

อิมัลชั่น (Emulsion) หมายถึงผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ถ้าต้องนำมาไว้ด้วยกันในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันก็ต้องใช้ตัวทำอิมัลชั่น (Emulsifier) เป็นตัวผสานทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชั่นที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทัศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็ก ๆ ของของเหลวชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายใน (Internal or Dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายนอก (External or Continuous phase) โดยทั่วไปหยดของวัฏภาคภายในอาจมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของวัฏภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชั่นมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน

ชนิดของอิมัลชั่น

ผลิตภัณฑ์อิมัลชั่นที่พบโดยทั่วไปมักมีลักษณะขาวขุ่นคล้ายน้ำนม แต่ความจริงแล้วอิมัลชั่นอาจมีลักษณะโปร่งใสก็ได้ การแบ่งชนิดของอิมัลชั่นอาจมีได้หลายลักษณะ ดังนี้

แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แมคโครอิมัลชั่น (Micro Emulsion) คือ อิมัลชั่นลักษณะขุ่นขาวที่พบโดยทั่วไปนั่นเอง อนุภาคของวัฏภาคภายในของอิมัลชั่นชนิดนี้มักมีขนาดตั้งแต่ 0.25 –10 ไมครอน (โดยทั่วไปจะใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหของแสงของวัฏภาคทั้งสองและเกิดการกระจายแสงทำให้ดูมองขุ่นขาว อิมัลชั่นนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชั่นเนื้อหยาบ (Coares Emulsion) ซึ่งมีอนุภาคค่อนข้างใหญ่และอิมัลชั่นเนื้อละเอียด (Fine Emulsion) ซึ่งมีอนุภาคค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป แมคโครอิมัลชั่นเป็นอิมัลชั่นชนิดที่พบมากที่สุดทั้งในอุสาหกรรม อาหาร ยา และเครื่องสำอาง เช่น ไอศรีม สลัดครีม ครีมรักษาโรคผิวหนัง

2. ไมโครอิมัลชั่น (Micro Emulsion) มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายในเล็กมาก (ประมาณ 10-75 นาโนมิเตอร์) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ดูโปร่งใส หยดของวัฏภาคภายในมีลักษณะกลม ถูกล้อมลอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชั่น มีทั้งชนิด O/W และ W/O

แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. อิมัลชั่นชนิด น้ำในน้ำมัน (W/O Emulsion) อิมัลชั่นชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมันพบอิมัลชั่นชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า (Cleansing Cream) ครีมทากลางคืน (Night Cream) ครีมนวดหน้า (Massage Cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone Cream) เป็นต้น เนื่องจากอิมัลชั่นชนิดนี้ค่อนข้างเหนอะหนะและล้างน้ำออกยากจึงเป็นที่นิยมใช้น้อย

2. อิมัลชั่นชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W Emulsion) อิมัลชั่นชนิดนี้กลับกันกับชนิดแรก คือ มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ จึงมีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจายดี ล้างน้ำออกง่าย เป็นที่นิยมมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมและโลชั่นทาผิว (Body Cream and Lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing Cream) ครีมกันแดด (Sunscreen Cream) ครีมรองพื้น (Foundation Cream) เป็นต้น

3. อิมัลชั่นเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) เป็นอิมัลชั่นที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชั่นเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็ก ๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชั่นธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบอิมัลชั่นชนิดนี้บ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น Cold cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น

แบ่งตามความหนืดของอิมัลชั่น ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. โลชั่น (Lotion) เป็นอิมัลชั่นที่มีความหนืดต่ำ (เหลว) เพราะมีวัฏภาคภายในปริมาณที่สูง วัฏภาคภายในมักมีไม่เกิน 35% โลชั่นอาจเป็นทั้งชนิด O/W และ W/O หรือมีชื่อเรียกต่างออกไปว่า น้ำนม (Milk or Milky Lotion) เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทาผิว โดยเฉพาะผิวหนังที่มีบริเวณกว้าง เพราะทาแล้วชุ่มชื้นไม่เหนอะหนะ ดูดซึมดี ให้ความรู้สึกสบายและล้างออกได้ง่าย เช่นโลชั่นทาผิว โลชั่นป้องกันแสดงแดด เป็นต้น โลชั่นชนิด W/O มีการใช้บ้างแต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะเมื่อทาแล้วจะรู้สึกเหนอะหนะผิว เช่นโลชั่นป้องกันแดดชนิดที่มีคุณสมบัติกันน้ำ ที่ใช้ทาก่อนลงเล่นน้ำ เป็นต้น คุณสมบัติเช่นนี้อิมัลชั่นชนิด O/W ไม่สามารถทำได้เพราะจะถูกน้ำชะล้างออกหมด เป็นต้น โลชั่นนี้อาจใช้สารเพิ่มความหนืด (Thickener Agent) ในวัฏภาคน้ำเพื่อให้หนืดขึ้นได้ แต่ยังคงเป็นของเหลวเทไหลได้

2. ครีม (Cream) เป็นอิมัลชั่นที่มีความหนืดสูง (ลักษณะกึ่งแข็ง) เพราะมีส่วนประกอบของสารพวกไขแข็ง (Waxes) และไขมัน (Fatty acid or Fatty Alcohol) ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดและเนื้อครีมที่ผสมอยู่กับน้ำมัน (Oils) ในวัฏภาคน้ำมัน ครีมมีทั้งชนิด O/W และ W/O ครีมมีความหนืด

กว่าโลชั่น เพราะมีปริมาณวัฏภาคภายในสูงกว่า คือประมาณ 35 – 75 % แล้วแต่ความหนืดที่ต้องการ โดยมีการใช้สารเพิ่มเนื้อครีม (Bodying or Stiffening agent) เช่น ไขมันและไขแข็ง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้กรณีของครีมชนิด O/W อาจมีการใส่สารเพิ่มความหนืด (Thickener agent) ร่วมด้วยในตำรับเช่น Acacia, Veegum, Methylcelluiose เป็นต้น ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดให้แก่วัฏภาคน้ำ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่เป็นครีมชนิด O/W ได้แก่ ครีมทาผิว ครีมบำรุงถนอมผิว ครีมแต่งผม ครีมโกนหนวด ครีมทากันแดด ครีมระงับเหงื่อและกลิ่นตัว ครีมทาแก้สิว ครีมทาแก้ฝ้า เป็นต้น ครีมชนิด W/O ได้แก่ ครีมฮอร์โมน ครีมล้างหน้า ครีมนวดหน้า ครีมแต่งผม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอิมัลชั่นชนิดพิเศษ คือ Anhydrous Emulsion ซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ประกอบด้วยน้ำมันและสาร Prolyols เช่น Glycerlin, propylene glycol, PEG 400 เป็นต้น อิมัลชั่นที่ได้อาจมีลักษณะใสหรือขุ่นขาว

ส่วนประกอบของอิมัลชั่น

ผลิตภัณฑ์รูปแบบอิมัลชั่น มีส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. วัฏภาคน้ำ (Water Phaes) ได้แก่ น้ำและสารต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Acacia, Veegum, Methylcelluiose, Carbopol สารฮิวเมกแตนต์ เช่น Glycerlin, Propylene Glycol หรือ Glycol ทั้งหลาย สารกันเสีย เช่น Metthylparaben, Sodium benzoate สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Sodium lauryl sulfate สีที่ละลายน้ำ สารต้านอ๊อกซิเดชั่น เช่น Sodium metabisulfite นอกจากนี้อาจเป็นสารออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น Cetyl pyridinium chloride, Benzalkonium chloride เป็นต้น สารต่าง ๆ เหล่านี้อาจเดิมลงในวัฏภาคน้ำได้ทั้งสิ้น แล้วแต่ส่วนประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

2. วัฏภาคน้ำมัน (Oil Phase) ได้แก่น้ำมันต่าง ๆ เช่น Oilive oil, Mineral oil, Castor oil ไขมัน เช่น Stearyl alcohol, Stearic acid, Cetyl alcohol, Lanolin ไขแข็ง เช่น Bee wex, Paraffin wax, Canuba Wex สีที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่าง ๆ สารกันหืน เช่น BHT, BHA สารลดแรงตึงผิว เช่น Span, Emulgin C 1000 หรือสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ เช่น ฮอร์โมน วิตามิน เป็นต้น แล้วแต่ส่วนประกอบในสูตรของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทเช่นกัน

3. ตัวทำอิมัลชั่น (Emulsifier) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Span, Sodium lauryl fulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็งอนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal magnesium aluminium silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชั่นเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

จากส่วนประกอบของอิมัลชั่น ซึ่งมองดูแล้วการผลิตอิมัลชั่นน่าจะเป็นสิ่งที่ทำได้ง่าย แต่พบว่า การผลิตอิมัลชั่นให้ได้ดีคือมีลักษณะสวยงามน่าใช้ เนื้อเนียนเรียบ มีความคงตัวโดยไม่แยกชั้น มีความหนืดและได้ชนิดที่ต้องการนั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากพอสมควร ต้องคำนึงถึงปัจจัยใหญ่อย่างน้อย 2 ประการ คือ

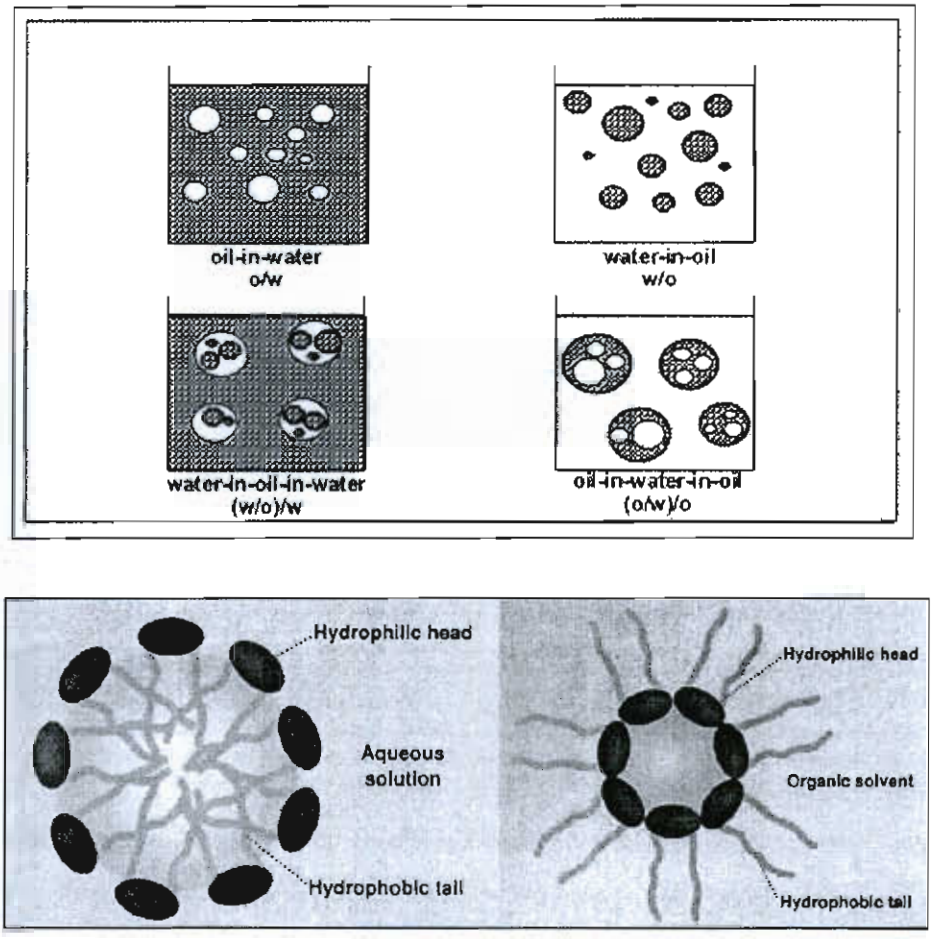
1. มีความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการเกิดอิมัลชั่น ตัวทำอิมัลชั่นและคุณสมบัติต่าง ๆ ของอิมัลชั่น

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคที่ถูกต้องในการผลิดอิมัลชั่น เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอและคงตัวดี ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาสูตรตำรับเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด

กลไกการเกิดอิมัลชั่น

ปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตรึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่า ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชั่นเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่า การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface Free Energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สภาวะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาวะให้เข้าจุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุดเหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นอย่างถาวรกล่าวคือเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในกันและกันของของเหลวทั้งสองชนิดโดยที่ยังคงสภาพอยู่ซึ่งไม่กลับมาแยกชั้นดังเดิมได้โดยการเติมตัวทำอิมัลชั่นลงไปก่อนการเขย่าดังนั้น การเกิดอิมัลชั่นได้ต้องอาศัยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ

1. การทำให้ของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็ก ๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปของความร้อน (Heat) การคนหรือเขย่า (Mechanical agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (Untrasonic Vibration) หรือไฟฟ้า (Electricity) เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 แสดงลักษณะของการเกิดอิมัลชั่น

2. การทำให้หยดเล็ก ๆ ที่กระจายตัวอยู่นั้นคงสภาพอยู่ได้ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชั่นดังกล่าว

กลไกการทำงานของตัวทำอิมัลชั่น

1. ลดแรงตรึงระหว่างผิวของของเหลวทั้งสอง เป็นการลดพลังงานอิสระที่พื้นผิวด้วย ทำให้โอกาสที่หยดวัฏภาคซึ่งกระจายตัวอยู่นั้นรวมตัวกันได้น้อยลงเป็นการเพิ่มความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์

2. เกิดฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่นโดยรอบหยดวัฏภาคภายใน ความแข็งแรงและลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มนี้แตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำอิมัลชั่นที่ใช้ ฟิล์มอาจเรียงตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยว (Monomolecilar film) โดยหันด้านมีประจุเข้าหาวัฏภาคน้ำ ด้านไม่มีประจุจะหันเข้าหาวัฏภาคน้ำมัน ฟิล์มชนิดนี้มักเกิดจากการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวทำอิมัลชั่นหรือมีการเรียงตัวซ้อนกันเป็นโมเลกุล (Multimolecular Film) ซึ่งเกิดจากการใช้คอลลอยด์ที่ชอบน้ำเป็นตัวทำอิมัลชั่น หรือมีการเรียงตัวของอนุภาคเล็กละเอียดของของแข็ง (Solid

Preticle Film) ซึ่งเกิดจากการใช้ของแข็งเล็กละเอียดบางชนิดซึ่งดูดซับหน้าประจันของวัฏภาคทั้งสองได้

ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของเหลว การวัดความหนืดสามารถทำได้หลายวิธี เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความหนืดเรียกว่า มาตรความหนืดหรือวิสโคมิเตอร์ (Viscometer) ในการวัดความหนืดไม่ว่าจะโดยวิธีใดก็ตามอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้ คือ 25±1°C

1. วิธีการวัดความหนืดโลชั่น

1.1 เปิดเครื่องวัดความหนืด

1.2 ใช้ขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร บรรจุสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าความหนืดปริมาณประมาณ 100 กรัม โดยสังเกตจากระดับของโลชั่นต้องมากกว่าระยะจุ่มของเข็มวัด

1.3 ตรวจสอบอุณหภูมิของโลชั่นที่จะวัด โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และหากอุณหภูมิไม่ได้ 25±1°C ให้ปรับอุณหภูมิให้ได้ก่อนการวัด

1.4 ตรวจสอบข้อกำหนดค่าความหนืดของโลชั่นชนิดที่จะวัด และตารางกำหนดชนิดเข็มวัดและความเร็วของเครื่องวัดจากนั้นปรับความเร็วและเลือกเข็มให้ตรงชนิดกับโลชั่น

1.5 จุ่มเข็มวัดลงในโลชั่นโดยอย่าให้เกิดมีฟองอากาศได้เข็มวัด (โดยตะแครงเข็มวัดขณะจุ่ม) แล้วติดตั้งเข็มวัด (Spindle) เข้ากับแกนหมุนของเครื่องวัด

1.6 ปรับปุ่มเลือกเข็มวัด (Select Spindle) โดยปรับเครื่องให้ตรงเข็มวัด (Spindle) ที่ใช้เมื่อได้แล้วให้กดเลือกเข็มวัด (Select Spindle) ซ้ำอีกครั้งให้เครื่องรับคำสั่ง ปรับปุ่มเลือกความเร็ว (Set Speed) โดยพยายามเลือกใช้เข็มวัด และความเร็วรอบให้เหมาะกับงาน เช่น ถ้าเป็นตัวอย่างที่ความหนืดสูงอาจใช้เข็มวัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก และความเร็วในการหมุนต่ำ ๆ หรือถ้าเป็นตัวอย่างที่ความหนืดต่ำอาจใช้เข็มวัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ และความเร็วในการหมุนสูงโดยสังเกตค่าความหนืดที่อ่านได้จะต้องคงที่ไม่แปรปรวนขณะอ่านผล เพื่อให้บันทึกผลง่ายไม่ผิดพลาด

1.7 จดผลการทดลอง โดยกดปุ่มเลือกบนหน้าจอ (Select Display) หาค่าความหนืดที่ต้องการในหน่วยเซ็นดิพอยด์ (Centipoises) หรือ mPa.s

1.8 เมื่อต้องการวัดตัวอย่างต่อไปให้กดปุ่ม เปิด/ ปิด (Motor On/ Off) ให้เข็มวัดหยุดหมุนแล้วทำการเปลี่ยนตัวอย่าง และทำความสะอาดเข็มวัด ซึ่งสามารถถอดออกล้างระหว่างวัด

ตัวอย่างได้และเมื่อเปลี่ยนตัวอย่างเรียบร้อยแล้วก็เพียงกดปุ่ม เปิด/ ปิด (Motor On/ Off) ให้เข็มวัดหมุนและอ่านผลค่าความหนืด

2. ข้อควรปฏิบัติในการวัดความหนืดโลชั่น

2.1 ตัวอย่างที่จะนำมาวัดความหนืดควรเป็นตัวอย่างที่เตรียมใหม่ ๆ (เว้นแต่ตัวอย่างที่อยู่ระหว่างศึกษาอายุการเก็บรักษา) และแต่ละตัวอย่างจะต้องมีอุณหภูมิเดียวกัน เพราะอุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อความหนืด

2.2 พยายามใช้ภาชนะใส่ตัวอย่างที่ใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มวัดพอสมควร เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเข็มวัดหมุนกับผนังภาชนะ

2.3 ควรใส่ตัวอย่างให้มีความสูงเกินกว่าระดับรอยบากของเข็มวัดและในระหว่างการวัดความหนืดของตัวอย่างใด ๆ ให้ระดับของตัวอย่างพอดีกับรอยบากของเข็มวัต

2.4 ในการวัดแต่ละตัวอย่าง ต้องใช้ภาชนะที่มีขนาดเท่ากันและปริมาตรของตัวอย่างต้องเท่ากันตลอดการทดลองในทุกตัวอย่าง และควรมีการทำการทดลองซ้ำโดยตัวอย่างสิ่งทดลองเดียวกัน (Treatment) จำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างใส่ในภาชนะให้ได้ตามจำนวนซ้ำของตัวอย่างที่ต้องการวัดในแต่ละตัวอย่างสิ่งทดลอง (Treatment) นั้น ๆ ไม่ใช่ว่าเตรียมเพียง 1 ภาชนะแล้ววัดซ้ำตามจำนวนซ้ำที่ต้องการ

2.5 ในการรายงานผลการทดลองจะต้องระบุถึงชื่อเครื่อง รุ่น ชนิดของเข็มวัด ความเร็วในการหมุน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะบรรจุตัวอย่าง และปริมาตรหรือความสูงของตัวอย่าง รวมถึงอุณหภูมิของตัวอย่างระหว่างทำการทดลองลงในวิธีการทดลองด้วย

ทฤษฎีการวิจัยเชิงทดลอง

การวิจัย (Research) คือ ขบวนการในการแสวงหาความรู้ที่น่าเชื่อถือได้ โดยใช้วิธีการที่น่าเชื่อถือ ได้มีผู้แบ่งการวิจัยออกเป็นหลายประเภทโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ กันถ้าแบ่งโดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเป็นเกณฑ์จะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การวิจัยเชิงประวัติศาสตร์ (Historical Research)

2. การวิจัยเชิงบรรยาย (Descriptive Research)

3. การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

ในที่นี้จะเน้นการวิจัยเชิงทดลอง ความหมายของการวิจัยเชิงทดลองมีดังนี้

การวิจัยเชิงการทดลองเป็นการวิจัยที่มุ่งบรรยายและวิเคราะห์ในสิ่งที่ควรจะเกิดขึ้นภายใต้สภาพการณ์ควบคุมอย่างระมัดระวัง

การวิจัยเชิงการทดลอง คือ การวิจัยที่ผู้วิจัยมีการจัดกระทำกับองค์ประกอบ เพื่อศึกษาว่าองค์ประกอบนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวผู้ถูกทดลองหรือไม่

การวิจัยเชิงการทดลอง เป็นการวิจัยที่ใช้ตัดสินว่าการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรหนึ่งเป็นสาเหตุที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงในอีกตัวแปรหนึ่งหรือไม่ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่จัดให้

ตัวแปร หมายถึง การกระทำที่มีอิทธิพลต่อผลการทดลอง (Independent Variable) คือ ตัวแปรที่ผู้ทดลองต้องการทดสอบว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองหรือไม่และตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ

คุณลักษณะการวิจัยทดลอง มีคุณลักษณะที่จำเป็นอยู่ 4 ประการ คือ

1. การควบคุม (Control) การควบคุมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการทดลองในการทดลองจะต้องมีการจัดสภาพการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถวัดตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาว่ามีผลกระทบต่อตัวแปรตามจริงหรือไม่ ผู้วิจัยต้องมีการควบคุมให้ตัวแปรทุกตัวที่จะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามคงที่ ยกเว้นตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษา

2. การจัดกระทำ (Manipulation) การจัดกระทำหมายถึง การดำเนินการเกี่ยวกับสภาพการณ์ต่าง ๆ อย่างรอบคอบ การวิจัยเชิงการทดลองจะต้องจัดสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาในกระบวนการนั้น จะต้องมีการกำหนดสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อผู้ถูกทดลองที่ผู้วิจัยเลือกมาศึกษาก่อน สภาพการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ก็คือ ตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรทดลอง (Experiment Variable) หรือตัวแปรสิ่งทดลอง (Treatment Variable)

3. การสังเกต (Observation) ในการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยต้องศึกษาผลการจัดกระทำตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามจึงต้องมีการสังเกตตัวแปรตาม ซึ่งก็คือ ผลการทดลองที่ต้องการศึกษานั่นเอง

4. การทำซ้ำ (Replication) การทำซ้ำ หมายถึง การที่ผู้วิจัยจัดสิ่งทดลองหนึ่ง ๆ ลงในหน่วยการทดลอง (Experiment Unit) มากกว่า 1 หน่วย เช่น ถ้าผู้วิจัยดำเนินการทดลองอย่างหนึ่งโดยใช้ตัวอย่าง 30 ชิ้นเท่ากันทั้งในกลุ่มทดลองที่หนึ่งและสอง กล่าวได้ว่าผู้วิจัยท่านนี้ทำการทดลอง 30 ครั้งในกลุ่มหนึ่งไปพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ในตัวอย่างนี้แต่ละกลุ่มมีหน่วยการทดลอง 30 หน่วยเท่ากัน ในการวิจัยไม่จำเป็นที่ทุกสิ่งทดลองจะต้องมีการทำซ้ำเท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมและการพิจารณาของผู้วิจัยแต่โดยทั่วไปมักจะทำซ้ำเท่ากันเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่ต้องการ ข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไป กับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นวิธีการแบบลองผิดลองถูกหรือใช้การทดลองปรับตั้งค่าในกระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time) เช่น ถ้าสงสัยว่าควรจะปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเท่าไร จึงจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงที่สุดและไม่เกิดของเสีย ดังนั้นแนวทางที่มักจะใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปคือ ลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงที่ค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จึงไปปรับตั้งส่วนของเวลา (ในขณะที่คงที่ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ กับอัตราส่วนผสมไว้) สุดท้ายจึงปรับตั้งส่วนของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (คงที่ค่าของอุณหภูมิกับเวลา) และทำซ้ำในวงจรนี้ไปเรื่อย ๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการ โดยทั่วไปแล้วการออกแบบการทดลอง One Factor at a Time จะทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้ามาก สิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์ รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ตารางที่ 2-1 พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง

แบบเก่า	แบบใหม่
1. ปรับทีละตัวแปรต่อครั้ง	1. ปรับทุกตัวแปรทั้งหมด (Full Factorials)
2. ทำทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ในการปรับ	2. ทำเพียงบางส่วน (Factional Factorials)
3. เลือกเอาเฉพาะการทดลองโดยการเดา	3. เลือกการทดลองโดยมีหลักการ (Screening Design)

การออกแบบการทดลอง ปารเมศ ชุติมา (2545. หน้า 4) ให้ความหมายไว้ว่า กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายิ่ง

ปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experiment Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้อย่างมาก

คำจำกัดความของคำศัพท์ที่ใช้ในหัวข้อมีดังนี้

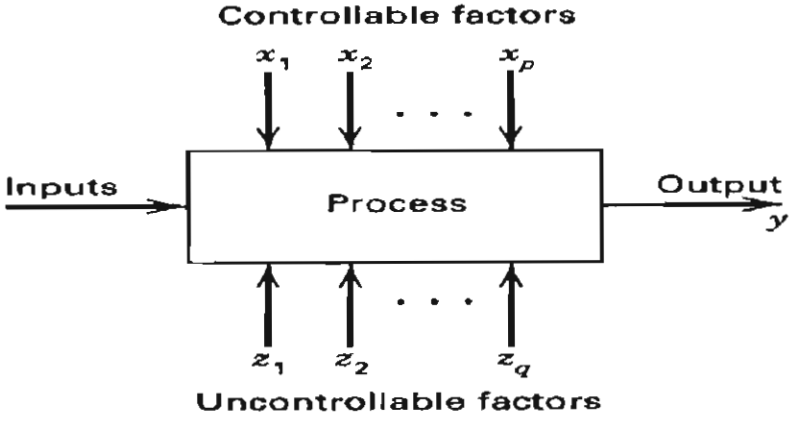
อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรอิสระ (ปัจจัยที่ทราบค่าสามารถกำหนดและเปลี่ยนแปลงได้) ที่มีต่อตัวแปรตาม (คุณลักษณะที่สามารถทราบได้หลังจากการทดลองในแต่ละครั้งหรือค่าที่ต้องการวัด)

ปัจจัย (Factor) หมายถึง คุณสมบัติใด ๆ ที่คาดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณลักษณะในตัวผลิตภัณฑ์

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยในการทดลองและไม่สามารถควบคุมได้

การออกแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัยในกระบวนการใด ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด (ดังแสดงในภาพที่ 2-2) ได้แก่



ภาพที่ 2-2 แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ

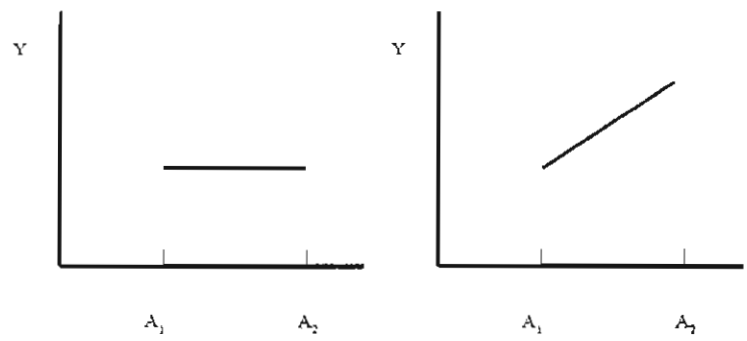
1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต เช่น การตั้งอุณหภูมิตู้อบความร้อน

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นไม่ได้ในการผลิต เช่น ไฟฟ้าดับ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้สามารถแบ่งดังนี้

2.1 ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เราสนใจศึกษา ส่วนใหญ่มักเป็นเวลาหรือเครื่องมืออุปกรณ์ Nuisance Variable หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่เราไม่ทราบมาก่อนว่าสามารถกำจัดอิทธิพลของตัวแปร Nuisance Variable โดยการสุ่ม

2.2 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง ในการทดลองหนึ่งอาจมีการวัดตัวแปรตามมากกว่า 1 ค่าได้การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่าค่าที่สังเกตได้จากทรีทเมนต์หนึ่งควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณซึ่งข้อสมมติในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจใช้การแปลงข้อมูลค่าสังเกตที่มีการแจกแจงที่ไม่เป็นปกติให้เป็นปกติได้

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่มีผลนั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 2 ระดับแล้วทำการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ Y หมายถึง ค่าความขุ่น และ A หมายถึง ค่าความเข้มของสี ซึ่งสรุปผลเมื่อได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 2-3



ปัจจัย A ที่ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ปัจจัย A ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2-3 แสดงอิทธิพลที่มีผลและอิทธิพลที่ไม่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

จากภาพที่ 2-3 ด้านซ้ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย A ค่า Y ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าปัจจัย A ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ส่วนด้านขวามือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย A ค่า Y มีการเปลี่ยนแปลงตาม ดังนั้นปัจจัย A มีผลต่อผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1. หาตัวแปรอิสระในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากที่สุด

2. เพื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระในกระบวนการผลิตที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

3. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือการพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

4. การค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

ข้อดีของการออกแบบการทดลองคือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มาก โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้ามีปัจจัยในการทดลองอยู่ 10 ปัจจัย ซึ่งในกระบวนการทดลองดูว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงต่อกระบวนการ ด้วยวิธีออกแบบ One Factor at a Time จะใช้เวลาถึง 1 ปี ในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่การใช้วิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจะใช้เวลาเพียง 1-3 สัปดาห์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าว

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มานั้นอย่างไร

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1. การนิยามปัญหา (Recognition and Statement of Problem)

เป็นการระบุความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการเรียนรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปยังวัตถุประสงค์ของการทดลอง บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้าและแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจน

จะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้น ๆ ด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต (Choice of Factors Levels and Ranges)

เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random) หรือแบบผสม (Mixed Effect) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก) แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

ข) แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

ค) แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดและแบบสุ่ม

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบสนองได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่าปัจจัยที่เกิดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อย ๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัย เราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมาก ๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้าง ๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเราอาจลดขอบเขตให้ลงมาแคบลงได้

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of Response Variable)

ในการเลือกผู้ทำการวิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องถูกต้องและแม่นยำด้วย

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบสนองหลายตัว และมีความ

จำเป็นอย่างมากที่เราต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนองและจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

ตารางที่ 2-2 รูปแบบและลักษณะการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	**ลักษณะการทดลอง**	**เวลาในการวิเคราะห์**	**ความถูกต้อง**	**งบประมาณ**
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	นาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ปัจจัย 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองชนิดเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

4. การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experiment Design)

เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้วต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลองซึ่งหมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม และการบล็อกที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับเลือกปัจจัย

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดตัวอย่าง (Replication) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีจัดกลุ่ม (Block) หรือการสุ่ม (Randomization) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่าปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

ในระหว่างดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยต้องศึกษาและดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

เมื่อทำการทดลองแล้วเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Analysis of Data)

จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผลเท่าใดแน่นอน แต่ยังเป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นและเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

การนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดีและถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับ

กระบวนการและสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟตารางแผนภูมิและการให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นเข้ามาช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนองานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirm Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะทดสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นด้วย

แนวคิดพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วยสิ่งสำคัญดังนี้

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization)

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ เทคนิคการจัดหน่วยการทดลองโดยให้แต่ละหน่วยการทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีตเมนต์หนึ่งเท่ากัน โดยวัตถุประสงค์ของการทำแบบสุ่มมีดังนี้

ก) เพื่อขจัดอคติหรือความเอนเอียงของผู้ทดลองและเพื่อให้แน่ใจว่าทรีทเมนต์ต่าง ๆ จะไม่มีการได้เปรียบและเสียเปรียบในเรื่องเกี่ยวกับการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันได้ว่าจะไม่มีการอคติใด ๆ เกิดขึ้นในการทดลอง

ข) การวิเคราะห์และทดสอบทางสถิตินั้นมีข้อกำหนดว่าความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นการทำให้ข้อมูลเป็นไปตามข้อกำหนด ทั้งนี้การสุ่มจะเป็นการช่วยกำจัดหรือเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้เกิดขึ้นกับหน่วยการทดลองด้วยโอกาสเท่ากัน การทดลองแบบสุ่มทำได้ 3 วิธี

1) การทำสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization)

2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

3) การสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization With Blocks)

2. การทำซ้ำ (Replication) คือ การที่ทรีทเมนต์หนึ่งทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง โดยมีจุดประสงค์การทำซ้ำคือ

ก) การทำซ้ำสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ เพื่อนำค่าความผันแปรภายในกลุ่มนี้มาเป็นตัวทดสอบว่ามีทรีทเมนต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติหรือไม่

ข) เพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลองโดยช่วยลดขนาดของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนซ้ำ (n) เป็นการช่วยลดค่า $\sigma_{\bar{y}}$ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_{\bar{y}} = \sqrt{\sigma^2 / n} \qquad (2\text{-}1)$$

ค) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

รูปแบบของการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งได้กว้าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองเมื่อมีปัจจัยเดียว (Single Factor Experiment)

ในการออกแบบการทดลองแบบนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบผลของตัวแปรที่สนใจเมื่อมีเพียงปัจจัยเดียวที่สนใจ และระดับของปัจจัยมีมากกว่า 2 ระดับ สามารถอธิบายการทดลองนี้โดยใช้สมการทางสถิติเชิงเส้นตรงได้ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2-4)

$$Yij = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \begin{cases} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,n \end{cases} \qquad (2\text{-}2)$$

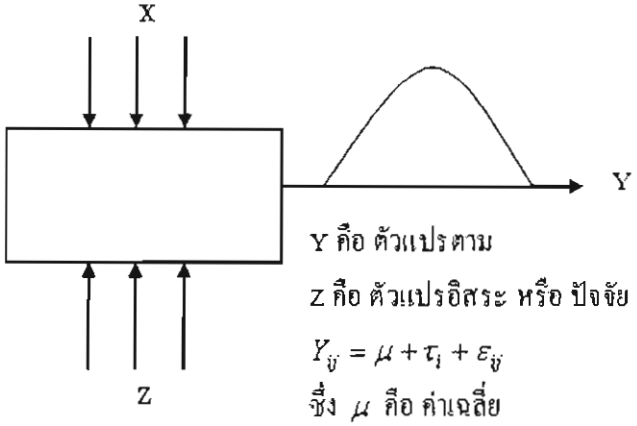
โดยที่ Y_{ij} เป็นค่าสังเกตที่ ij

μ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ร่วมกันทุกระดับ เป็นค่าเฉลี่ยของประชากร

τ_i คือ ค่าพารามิเตอร์สำหรับระดับที่ i หรือผลกระทบจากระดับที่ i

ε_{ij} คือ องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error)

มีจุดประสงค์เพื่อทำการทดสอบสมมติฐานที่เหมาะเกี่ยวกับผลกระทบของระดับต่าง ๆ และทำการประมาณค่าสำหรับการทดสอบสมมติฐาน ความผิดพลาดของแบบจำลองถูกสมมติให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน



Y คือ ตัวแปรตาม

Z คือ ตัวแปรอิสระ หรือ ปัจจัย

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ภาพที่ 2-4 แสดงปัจจัยและตัวแปรของกระบวนการ

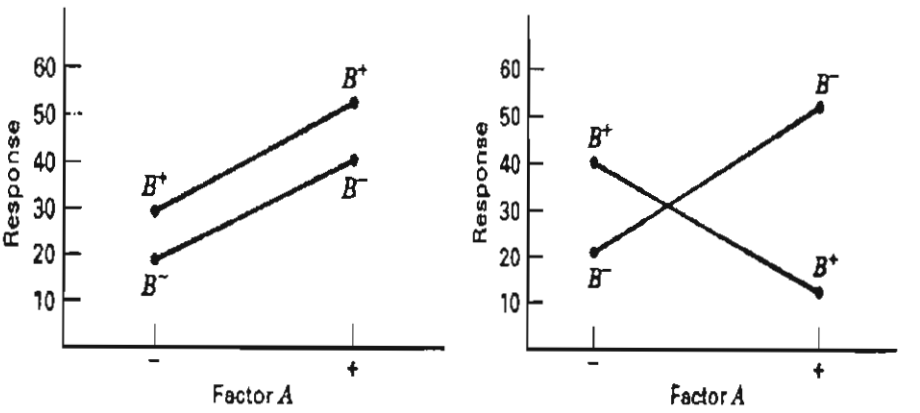
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

2. การออกแบบการทดลองหลายปัจจัยแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design Experiment)

เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาผลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมกัน การวิเคราะห์จะให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลและส่งผลต่อตัวแปรตาม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่า การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยหลายปัจจัยพร้อมกัน คำว่าแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง กล่าวคือมีการใช้ระดับของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกันจึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองแต่ละครั้งได้พร้อมกัน เช่น ถ้าปัจจัย A มี a ระดับปัจจัย B มี b ระดับ ab โดยมีปัจจัยร่วม ab โดยอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ

ก) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตามเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

ข) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนไป ทำให้อิทธิพลของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนตามไปด้วย ดังแสดงที่เกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม ดังแสดงภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 แสดงอิทธิพลของปัจจัย A ไม่มีผลและอิทธิพลของปัจจัย A ที่มีผลต่อตัวแปรตาม

จากภาพที่ 2-5 ภาพด้านซ้ายเมื่อปัจจัย A มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงและปัจจัย B มีค่าคงที่ทำให้ตัวแปรตาม (Response) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงเช่นเดียวกัน แสดงถึงปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อกันส่วนภาพด้านขวาเมื่อปัจจัย A มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงและปัจจัย B มีค่าคงที่ทำให้ตัวแปรตาม (Response) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงเป็นค่าต่ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย A แสดงถึงปัจจัย A และ B มีอิทธิพลร่วมกัน

365490

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้นเป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นั้นอาจใช้ในแผนการทดลองแบบใด ๆ ก็ได้โดยมีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี

เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลาย ๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยกว่าการทดสอบครั้งละ 1 ปัจจัย ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 ปัจจัย

ข้อเสีย

เนื่องจากมีปัจจัยร่วมจึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง

ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองจะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากเป็นไปได้ยาก

3. การออกแบบการทดลองแบบสองปัจจัยแบบแฟคทอเรียล (Two Factor Factorial Design of Experiment)

ปารเมศ ชุติมา (2545. หน้า 222-230) อธิบายไว้ดังนี้ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุดจะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบการทดลองนั้น คือ ในแต่ละเรพพลิเคต (Replicate) ของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

กำหนดให้ Y_{ijk} คือ ผลตอบที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ระดับ I (I = 1, 2,..., a) และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j (j = 1, 2,..., b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (k = 1, 2,..., n) รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ในภาพที่ 2-6 เนื่องจากลำดับของการสังเกตทั้ง abn ครั้งถูกเลือกมาอย่างสุ่ม ดังนั้นการออกแบบเช่นนี้เรียกว่า การออกแบบสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized Design)

Factor A	Factor B: 1	2	...	b
1	$y_{111}, y_{112}, \cdots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \cdots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \cdots, y_{1bn}$
2	$y_{211}, y_{212}, \cdots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \cdots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \cdots, y_{2bn}$
⋮				
a	$y_{a11}, y_{a12}, \cdots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \cdots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \cdots, y_{abn}$

ภาพที่ 2-6 แสดงรูปแบบการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

ข้อมูลจากการทดลองสามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$Yii = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1,2,...a \\ j = 1,2,...b \\ k = 1,2,...n \end{cases} \quad (2\text{-}3)$$

โดยที่

μ หมายถึง ผลเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ i ของแถว (Row) ของปัจจัย A

βj หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ j

ε_{ijk} หมายถึง องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม สมมติว่าปัจจัยทั้งคู่มีค่าตายตัว (Fixed) และจากผลการทดลอง (Treatment Effect) หมายถึง ส่วนที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด

ดังนั้น $\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0$ และ $\sum_{i=0}^{b} \beta_j = 0$ ในทำนองเดียวกันสมมติว่าผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมมีค่าตายตัว และกำหนดว่า $\sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^{b} (\tau\beta)_{ij} = 0$ เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้มีจำนวนเรพลิเคต n ครั้ง ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งหมดเท่ากับ abn

ในการทดลองเชิงแฟคตอเรียล 2 ปัจจัย ทั้งปัจจัยที่เกิดจาก A (แถว) และ B (คอลัมน์) มีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้นเราต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย A หรือกล่าวได้ว่า

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = ... = \tau_a$

$H_1 : Least\ at\ one\ \tau_1 \neq 0$

สมมติฐานของผลที่เกิดจากปัจจัย B

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_b$

$H_1 : Least\ at\ one\ \beta_1 \neq 0$

นอกจากนั้นแล้ว อิทธิพลร่วมที่เกิดระหว่างปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญหรือไม่ หรือกล่าวว่าได้ว่า

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_1 : Least\ at\ one\ (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

กำหนดให้ $y_{i.}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ i ของปัจจัย A

กำหนดให้ $y_{.j}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ j ของปัจจัย B

กำหนดให้ y_{ij} เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ข้อมูลตำแหน่งที่ ij

กำหนดให้ y เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดที่ได้

$\bar{y}_{i.}$, $\bar{y}_{.j}$, $\bar{y}_{ij}$ และ $\bar{y}_{...}$ เป็นค่าเฉลี่ยของแถว,คอลัมน์,เซลล์ และผลรวมทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{i..} = y_{i.}/bn \qquad i = 1,2,...,a$$

$$y_{.j} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{.j} = y_{.j}/an \qquad j = 1,2,...,b$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{ij} = y_{ij.}/n$$

$$i = 1,2,...,a$$

$$j = 1,2,...,b$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{...} = y_{...}/abn$$

$$i = 1,2,...,a$$

$$j = 1,2,...,b$$

$$k = 1,2,...,n$$

ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองเป็นดังนี้

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk}-y_{...})^2 = \Big[\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...})+(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...})+$$
$$(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...})+(\bar{y}_{ijk}-\bar{y}_{ij.})\Big]^2$$
$$= bn\sum_{i=1}^{a}(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...})^2 + an\sum(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...})^2$$
$$+\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...})^2$$
$$+\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk}-\bar{y}_{ij.})^2 \qquad (2\text{-}4)$$

สังเกตได้ว่า ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองจะถูกแบ่งออกเป็นดังนี้

1. ผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากแถว (ปัจจัย A : SS_A)
2. ผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากคอลัมน์ (ปัจจัย B : SS_B)
3. ผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B (SS_{AB})
4. ผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาด (SS_E)

จากพจน์สุดท้ายของสมการ 2-4 จะเห็นได้ว่าต้องมีอย่างน้อย 2 เรพลิเคต เพื่อที่จะทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าของผลรวมกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ดังนั้นปรับสมการ 2-4 เป็น

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \qquad (2\text{-}5)$$

จำนวนของระดับชั้นความเสรีสำหรับผลรวมของกำลังสองแต่ละค่า คือ

ปัจจัย	ระดับชั้นความอิสระ (Degree of Freedom)
A	a-1
B	b-1
AB interaction	(a-1)(b-1)
Error	ab(n-1)
Total	abn-1

ตารางที่ 2-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (Anova Table)

แหล่ง	ผลรวมกำลังสอง	ชั้นของความอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (F_0)
A	$\sum_{i=1}^{a} y^2_{i.} / n - y^2_{...} / abn$	a-1	$MS_A = SS_A / a-1$	MS_A / MS_E
B	$\sum_{j=1}^{b} y^2_{.j.} / an - y^2_{...} / abn$	b-1	$MS_B = SS_B / b-1$	MS_B / MS_E
AB Interaction	$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}{}^2 / n - y^2_{...} / abn - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = SS_{AB} /(a-1)(b-1)$	MS_{AB} / MS_E
Error	$SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	ab(n-1)	$MS_E = SS_E / ab(n-1)$	
Total	$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y^2_{ijk} - y^2_{...} / abn$	abn-1		

ความหมายของสัญลักษณ์ในตารางที่ 2-3 ได้แก่

y	คือ ค่าของตัวแปรตาม
a	คือ จำนวนระดับของปัจจัย A
b	คือ จำนวนระดับของปัจจัย B
n	คือ จำนวนการทดลองซ้ำ
A	คือ ปัจจัย A
B	คือ ปัจจัย B
AB	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B
MS_A, MS_B, MS_{AB}	คือ กำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย A, B และ AB ตามลำดับ
MS_E	คือ กำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน
SS_A, SS_B, SS_{AB}	คือ ผลรวมกำลังสองของ A, B และ AB ตามลำดับ
SS_E	คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้การทดสอบค่า F-test เป็นเครื่องมือสำคัญ ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถที่จะรู้ผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยร่วมระหว่างตัวแปร และความคลาดเคลื่อนในการทดลองด้วย

จากภาพที่ 2-5 ภาพด้านซ้ายเมื่อปัจจัย A มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงและปัจจัย B มีค่าคงที่ทำให้ตัวแปรตาม (Response) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงเช่นเดียวกัน แสดงถึงปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อกันส่วนภาพด้านขวาเมื่อปัจจัย A มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำเป็นค่าสูงและปัจจัย B มีค่าคงที่ทำให้ตัวแปรตาม (Response) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงเป็นค่าต่ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย A แสดงถึงปัจจัย A และ B มีอิทธิพลร่วมกัน

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้นเป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นั้นอาจใช้ในแผนการทดลองแบบใด ๆ ก็ได้โดยมีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี

เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลาย ๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยกว่าการทดสอบครั้งละ 1 ปัจจัย ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 ปัจจัย

ข้อเสีย

เนื่องจากมีปัจจัยร่วมจึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง

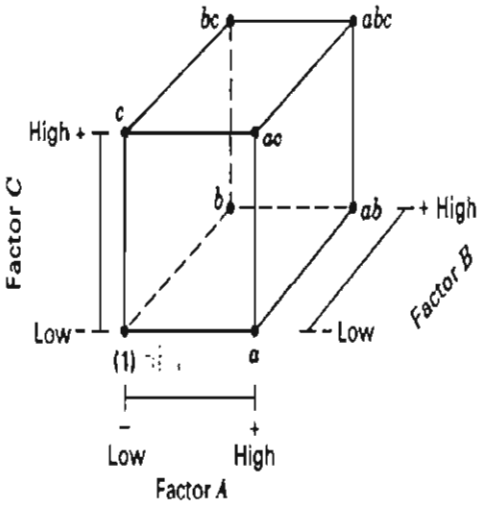
ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองจะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากเป็นไปได้ยาก

3. การออกแบบการทดลองแบบสองปัจจัยแบบแฟคทอเรียล (Two Factor Factorial Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^3

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^3 หมายถึง การออกแบบการทดลองที่มีปัจจัยนำมาศึกษา 3 ปัจจัย (k) และแต่ละปัจจัยที่ระดับข้อมูล 2 ระดับ หรือถ้ามีจำนวนปัจจัย k ปัจจัยและมีจำนวนระดับข้อมูล 3 ระดับ สามารถเขียนสัญลักษณ์เป็น 3^k

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 จะใช้การทดลองจำนวน 8 ครั้ง จะมีรูปแบบทรงเรขาคณิตเป็นลูกบาศก์ ดังแสดงในภาพที่ 2-7



(a) Geometric view

Run	Factor A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

(b) The design matrix

ภาพที่ 2-7 แสดงการออกแบบการทดลอง 2^3

จากภาพที่ 2-7 (a) Geometric View ใช้เครื่องหมายบวกและลบแทนค่าสูงและค่าต่ำของข้อมูลในแต่ละปัจจัยตามลำดับ จากภาพที่ 2-7 (b) The design Matrix การทดลอง (Run) ทั้ง 8 ครั้ง กำหนดให้แต่ละปัจจัยมีค่าดังนี้โดยที่

Run 1(1) หมายถึง ให้ปัจจัย A, B, C มีค่าต่ำทั้งหมด

Run 2(a) หมายถึง ให้ปัจจัย A มีค่าสูง ส่วนปัจจัย B, C มีค่าต่ำ

Run 3(b) หมายถึง ให้ปัจจัย B มีค่าสูง ส่วนปัจจัย A, C มีค่าต่ำ

Run 4(ab) หมายถึง ให้ปัจจัย A, B มีค่าสูง ส่วนปัจจัย C มีค่าต่ำ

Run 5(c) หมายถึง ให้ปัจจัย C มีค่าสูง ส่วนปัจจัย A, B มีค่าต่ำ

Run 6(ac) หมายถึง ให้ปัจจัย A, C มีค่าสูง ส่วนปัจจัย B มีค่าต่ำ

Run 7(bc) หมายถึง ให้ปัจจัย B, C มีค่าสูง ส่วนปัจจัย A มีค่าต่ำ

Run 8(abc) หมายถึง ให้ปัจจัย A, B, C มีค่าสูงทั้งหมด

1. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A

กำหนดให้ปัจจัย A มีค่าสูงแล้วการคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A กำหนดให้ปัจจัย A มีค่าสูงแล้วหาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A ได้ดังนี้

ก) พิจารณาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อ B และ C มีค่าต่ำ

= (a-(1))/n

ข) พิจารณาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อ B มีค่าสูง และ C มีค่าต่ำ

= (ab-b)/n

ค) พิจารณาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อ C มีค่าสูง และ B มีค่าต่ำ

= (ac-c)/n

ง) พิจารณาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อ B, C มีค่าสูง

= (abc-bc)/n

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A คือ

$$A = 1/4n[a-(1)+ab-b+ac-c+abc-bc]$$

หรือจัดรูปแบบสมการใหม่เป็น

$$A = 1/4n[a+ab+ac+abc-b-c-bc] \quad (2\text{-}6)$$

2. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B

ในทำนองเดียวกับการคำนวณค่าอิทธิพลของปัจจัย A ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B คือ

$$B = 1/4n[b-(1)+ab-a+bc-c+abc-ac]$$

หรือจัดรูปแบบสมการใหม่เป็น

$$B = 1/4n[b+ab+bc+abc-a-c-ac] \quad (2\text{-}7)$$

3. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย C

ในทำนองเดียวกับการคำนวณค่าอิทธิพลของปัจจัย A ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย C คือ

$$C = 1/4n[c-(1)+ac-a+bc-b+abc-ab]$$

หรือจัดรูปแบบสมการใหม่เป็น

$$C = 1/4n[c+ac+bc+abc-(1)-a-b-ab] \quad (2\text{-}8)$$

4. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AB

กำหนดให้ค่าอิทธิพลร่วมของปัจจัย AB เป็นครึ่งหนึ่งของผลต่างค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย B มีค่าสูงและค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย B มีค่าต่ำ

ปัจจัย B	ค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A
ค่าสูง	$[(abc-bc)+(ab-b)]/2n$

ค่าต่ำ $[(ac-c)+(a-(1))]/2n$

ความแตกต่าง

$[abc-bc+ab-b-ac+c-a+(1)]/2n$

กำหนดให้ค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AB เป็นครึ่งหนึ่งของผลต่างค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย B มีค่าสูง และค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย B มีค่าต่ำ ดังนั้นค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย AB คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$AB=[abc-bc+ab-b-ac+c-a+(1)]/4n \quad (2\text{-}9)$$

สามารถจัดรูปแบบสมการใหม่เป็นดังนี้

$$AB=[abc+ab+c+(1)]/4n-[bc+b+ac+a]/4n$$

5. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AC

กำหนดให้ค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AC เป็นครึ่งหนึ่งของผลต่างค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย C มีค่าสูงและค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A เมื่อปัจจัย C มีค่าต่ำ ดังนั้นค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย AC คำนวณได้ในทำนองเดียวกับการคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AB จะได้สมการ ดังนี้

$$AC=[(1)-a+b-ab-c+ac-bc+abc]/4n \quad (2\text{-}10)$$

6. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย BC

กำหนดให้ค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย BC เป็นครึ่งหนึ่งของผลต่างค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B เมื่อปัจจัย C มีค่าสูงและค่าเฉลี่ยอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B เมื่อปัจจัย C มีค่าต่ำ ดังนั้นค่าอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย BC คำนวณได้ในทำนองเดียวกับการคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย AB จะได้สมการ ดังนี้

$$BC=[(1)-a+b-ab-c+ac-bc+abc]/4n \quad (2\text{-}11)$$

7. การคำนวณค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย ABC

กำหนดให้ค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย ABC คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าอิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย AB เมื่อปัจจัย C มีค่าสูงและค่าเฉลี่ยอิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย AB เมื่อปัจจัย C มีค่าต่ำ ดังนั้นค่าอิทธิพลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัย ABC สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$ABC=[abc-bc-ac+c-ab+a-(1)]/4n \quad (2\text{-}12)$$

จากภาพที่ 2-7 (b) The matrix Design สามารถขยายรายละเอียดของอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมได้ ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์สำหรับผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^3

Treatment Combination	Factorial Effect							
	I	**A**	**B**	**AB**	**C**	**AC**	**BC**	**ABC**
(1) =-4	+	-	-	+	-	+	+	-
a =1	+	+	-	-	-	-	+	+
b =-1	+	-	+	-	-	+	-	+
ab =5	+	+	+	+	-	-	-	-
c =-1	+	-	-	+	+	-	-	+
ac =3	+	+	-	-	+	+	-	-
bc =2	+	-	+	-	+	-	+	-
abc =11	+	+	+	+	+	+	+	+
Contrast		24	18	6	14	2	4	4
Effect		3.00	2.25	0.75	1.75	0.25	0.50	0.50

ในสมการที่ 2-5 ถึงสมการที่ 2-12 พบว่าค่าที่อยู่ในเครื่องหมาย [ ] เรียกว่าคอนทราสท์ (Contrasts) ดังแสดงค่าในตารางที่ 2-4 ดังนั้นค่าผลรวมของกำลังสองของผลที่เกิดจากปัจจัยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SS\ factor = (Contrast)^2 / 8n \qquad (2\text{-}13)$$

จากนั้นแทนค่าลงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่ง	ผลรวมกำลังสอง	ชั้นของความอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (F0)
A	SS_A	a-1	$MS_A = SS_A / a-1$	MS_A / MS_E
B	SS_B	b-1	$MS_B = SS_B / b-1$	MS_B / MS_E
C	SS_C	c-1	$MS_C = SS_C / c-1$	MS_C / MS_E
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = SS_{AB} /(a-1)(b-1)$	MS_{AB} / MS_E
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	$MS_{AC} = SS_{AC} /(a-1)(c-1)$	MS_{AC} / MS_E
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	$MS_{BC} = SS_{BC} /(b-1)(c-1)$	MS_{BC} / MS_E
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	$MS_{ABC} = SS_{ABC} /(a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC} / MS_E
Error	SS_E	abc(n-1)	$MS_E = SS_E / abc(n-1)$	
Total	SS_T	abcn-1		

จากตารางที่ 2-5 การทดสอบค่า F-test ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม จะมีค่าที่สูงและต่ำแตกต่างกันไป โดยค่าที่สูงที่สุดแสดงถึงความมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุดด้วย ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีค่า F_0 น้อยกว่าความมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามก็ลดลงตามลำดับค่า F_0 ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุดสามารถพิจารณาจากค่า F_0 ได้

แบบจำลองถดถอย (The Regression Model and Response Surface)

รูปแบบสมการถดถอยจากผลการทดลองที่ใช้ในการคาดการณ์ล่วงหน้าได้ เป็นดังนี้

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_3 x_3 + \hat{\beta}_{12} x_{12} + \hat{\beta}_{13} x_{13} + \hat{\beta}_{23} x_{23} + \hat{\beta}_{123} x_{123} \qquad (2\text{-}14)$$

โดยค่า

$\hat{\beta}_0$ = ค่าเฉลี่ย (μ) ของผลการทดลอง

$\hat{\beta}_1$ = A/2 (ค่า A จากสมการ 2-6)

$\hat{\beta}_2$ = B/2 (ค่า B จากสมการ 2-7)

$\hat{\beta}_3$ = C/2 (ค่า C จากสมการ 2-8)

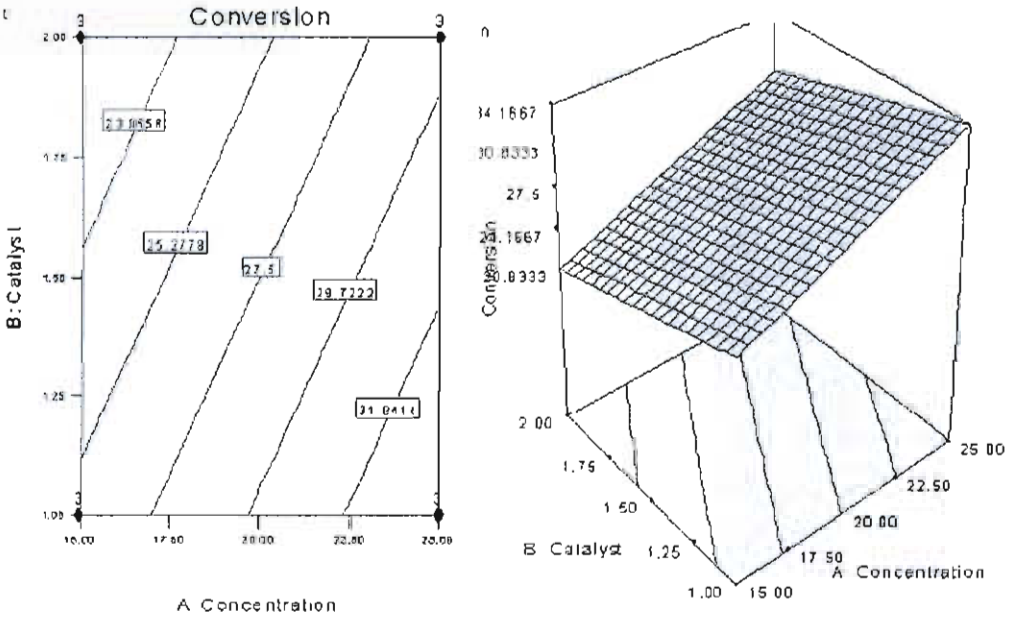
$\hat{\beta}_{12}$ = AB/2 (ค่า AB จากสมการ 2-9)

$\hat{\beta}_{13}$ = AC/2 (ค่า AC จากสมการ 2-10)

$\hat{\beta}_{23}$ = BC/2 (ค่า BC จากสมการ 2-11)

$\hat{\beta}_{123}$ = ABC/2 (ค่า ABC จากสมการ 2-12)

จากสมการถดถอย (Regression Model) สามารถนำไปสร้าง Contour Plot และ Response Surface โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังแสดงในภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้าง Contour Plot และ Response Surface สำหรับการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การออกแบบ 2^k มีรูปแบบที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบไปด้วยจำนวนผลการทดลอง 2^k-1 ชนิด ยกตัวอย่างการทดลองแบบ 2^4 ประกอบไปด้วยการทดลองที่มีลำดับมาตรฐาน คือ (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc, d, ad, bd, abd, cd, acd, bcd และ abcd ดังนั้นจำนวนผลการทดลอง 2^4-1 เท่ากับ 15 ชนิด วิธีการในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ 2^k แสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k

1. การประมาณค่าที่เกิดจากแต่ละปัจจัย
2. แบบจำลองเริ่มต้น
2. a ในกรณีที่มีการทดลองซ้ำ ให้ใส่ค่าอิทธิพลหลักและค่าอิทธิพลร่วมทุกปัจจัยในสมการ
2. b ในกรณีไม่มีการทดลองซ้ำ ให้พลอตกราฟความน่าจะเป็นของทุกปัจจัย
3. การทดสอบทางสถิติ
4. ทบทวนแบบจำลอง
5. การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน (Residuals)
6. อธิบายผลแบบจำลอง

จากตารางที่ 2-6 ขั้นตอนแรกให้ประมาณผลที่เกิดจากแต่ละปัจจัย และตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่จะเกิดขึ้นทำให้ผู้ทดลองทราบโดยเบื้องต้นว่า ปัจจัยใดที่มีความสำคัญ ขั้นตอนที่สองการกำหนดรูปแบบจำลองที่มีปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ขั้นตอนที่สามดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมใดที่มีความสำคัญละทิ้งไม่ได้ ขั้นตอนที่สี่ทบทวนแบบจำลองให้ตัดปัจจัยที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเริ่มต้น ขั้นตอนที่ห้าการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล (Model Adequacy Checking) ในบางกรณีมีการแก้ไขแบบจำลองหลังจากการทดสอบข้อมูลที่พบว่ามีข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง ขั้นสุดท้ายการวิเคราะห์ด้วยกราฟ โดยการพลอตกราฟที่มีปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีความสำคัญ

การประมาณค่าที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ หรือค่าผลรวมกำลังสองของผลจากปัจจัยต้องคำนวณหาค่าคอนทราสต์ของปัจจัยต่าง ๆ ก่อนโดยมีเครื่องหมายบวกลบตามตารางเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ (ดังแสดงในตารางที่ 2-7) เมื่อได้ค่าคอนทราสต์ของปัจจัยต่าง ๆ แล้วจึงนำไปคำนวณค่าที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ รวมทั้งผลรวมกำลังสองของผลจากปัจจัยได้ ดังสมการ 2-14, 2-15, 2-16

ตารางที่ 2-7 เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรในสมการคอนทราสต์สำหรับการทดลองแบบ 2^4

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD
(1)	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-
a	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-
b	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+
ab	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
c	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+
ac	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+
bc	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
d	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+
ad	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+
bd	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-
abd	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
cd	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
acd	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
bcd	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
abcd	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

สมการคอนทราสต์

$$Contrast_{AB..K} = (a \pm 1)(b \pm 1).....(k \pm 1) \qquad (2\text{-}15)$$

สมการหาค่าประมาณของผลจากปัจจัยต่าง ๆ

$$AB...K = 2(Contrast_{AB..K}) / n2^k \qquad (2\text{-}16)$$

สมการผลรวมกำลังสองของผลจากปัจจัย

$$SS_{AB..K} = 2(Contrast_{AB..K})^2 / n2^k \qquad (2\text{-}17)$$

โดยที่ n แทนจำนวนซ้ำ (Replicate)

การคำนวณค่าคอนทราสต์ แทนค่าเครื่องหมายในสมการที่ 2-15 โดยให้ปัจจัยที่เหมือนกันเป็นลบ ปัจจัยต่างกันเป็นบวก แล้วคูณสมการในวงเล็บตามหลักพีชคณิต หรือ ใช้วิธีการนำเครื่องหมาย ± ในตารางที่ 2-7 แทนค่าทุกพจน์ในสมการ โดยสมการคอนทราสต์ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมของการทดลองแบบ 2^4 มีดังนี้

$$Contrast_A = (a-1)(b+1)(c+1)(d+1)$$

$$= a + ab + ac + abc + ad + abd + acd + abcd - (1) - b - c - bc - d - bd - cd - bcd$$

$$Contrast_B = (a+1)(b-1)(c+1)(d+1)$$

$$= b + ab + bc + abc + bd + abd + bcd + abcd - (1) - a - c - ac - d - ad - cd - acd$$

$$Contrast_{AB} = (a-1)(b-1)(c+1)(d+1)$$

$$= (1) + ab + c + c + abc + d + abd + cd + abcd - a - b - ac - bc - ad - bd - acd - bcd$$

$$Contrast_{AC} = (a-1)(b+1)(c-1)(d+1)$$

$$= (1) + b + ac + abc + d + bd + acd + abcd - a - ab - c - bc - ad - abd - cd - bcd$$

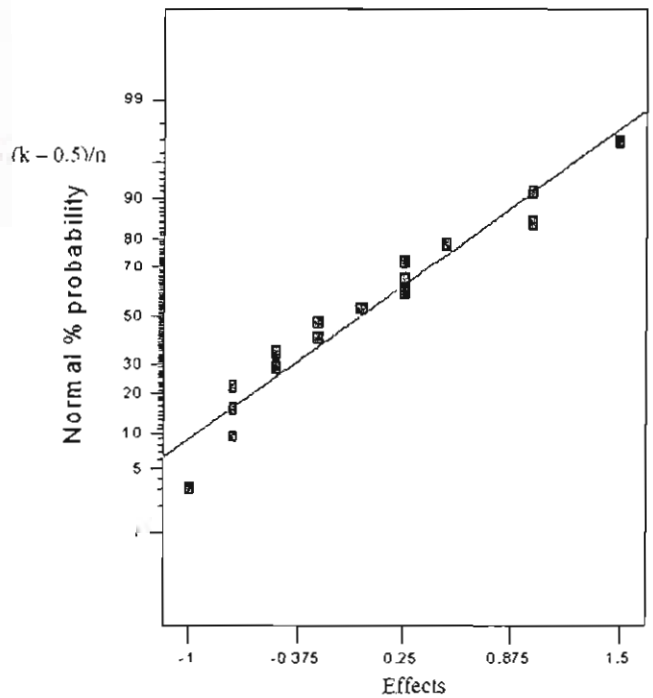
$$Contrast_{BC} = (a+1)(b-1)(c-1)(d+1)$$

$$= (1) + a + bc + abc + d + bd + bcd + abcd - b - ab - c - ac - bd - abd - cd - acd$$

$$Contrast_{ABC} = (a-1)(b-1)(c-1)(d+1)$$

$$= a + b + c + abc + ad + bd + abd + cd + ab - (1) - ab - ac - bc - d - abd - acd - bcd$$

ค่าประมาณการของปัจจัยสามารถแทนค่าคอนทราสต์ในสมการที่ 2-16 ผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัยสามารถแทนค่าคอนทราสต์ในสมการที่ 2-17 จากนั้นคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญโดยการพลอตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติดังตัวอย่างในภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot of Residual)

จากภาพที่ 2-9 เรียงผลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมจากค่าน้อยไปหาค่ามากแล้ว พลอตบนแกน x คู่กับค่า (k-0.5)/n อยู่บนแกน y กำหนดลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามาก (k) จำนวนข้อมูล (n) ถ้ามีจุกบนกราฟที่อยู่นอกแนวเส้นตรง แสดงว่าค่าปัจจัยนั้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งหมดให้นำไปทดสอบเปรียบเทียบความสำคัญต่อไป

วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ (Response Surface Methodology : RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์ และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ตัวและต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลการตอบสนองเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น สมมติว่ามีวิศวกรเคมีคนหนึ่งมีความต้องการที่จะหาระดับของอุณหภูมิ (x_1) และความดัน (x_2) ที่จะส่งผลให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชั่นของระดับของอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือ

$$y = \int (x_1, x_2) + \varepsilon \qquad (2\text{-}18)$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดให้

$$E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$$

ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1, x_2) \qquad (2\text{-}19)$$

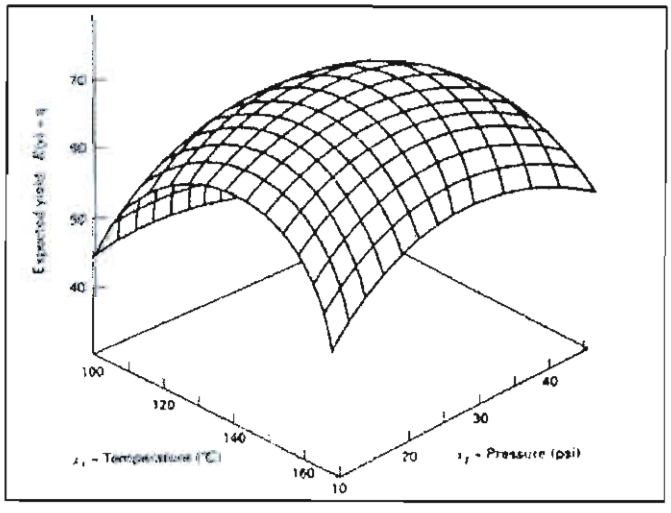
ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) โดยมากแล้วจะทำการแสดงพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ (ภาพที่ 2-9) โดยที่ η จะถูก Plot กับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่แล้วจะทำการพลอตเป็นเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวตอบสนอง (ภาพที่ 2-10) ในการสร้างเส้นโครงร่างนี้เส้นที่มีค่าของผลตอบสนองคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 ซึ่งเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบสนองที่เท่ากันอยู่ค่าหนึ่ง ในปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนมากจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนอง และตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นตอนแรกก็คือจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชั่นพหุนามที่

กำลังต่ำ ๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบสนองมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระฟังก์ชั่นที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้คือ แบบจำลองกำลังหนึ่ง

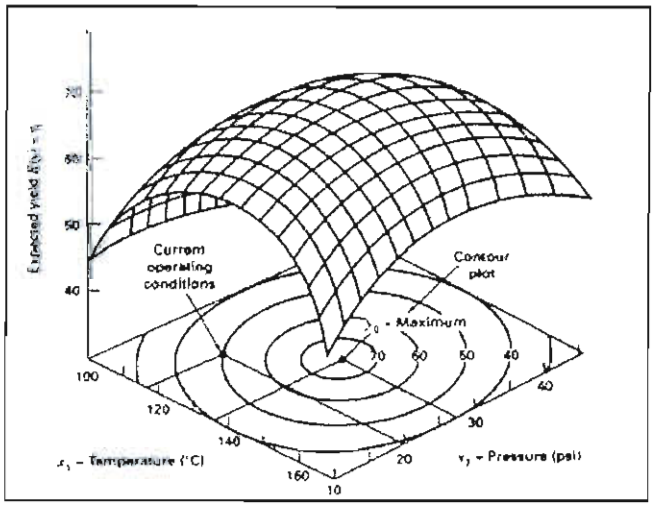
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad (2\text{-}20)$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชั่นพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^{\,2} + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2\text{-}21)$$



ภาพที่ 2-10 แสดงภาพพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ

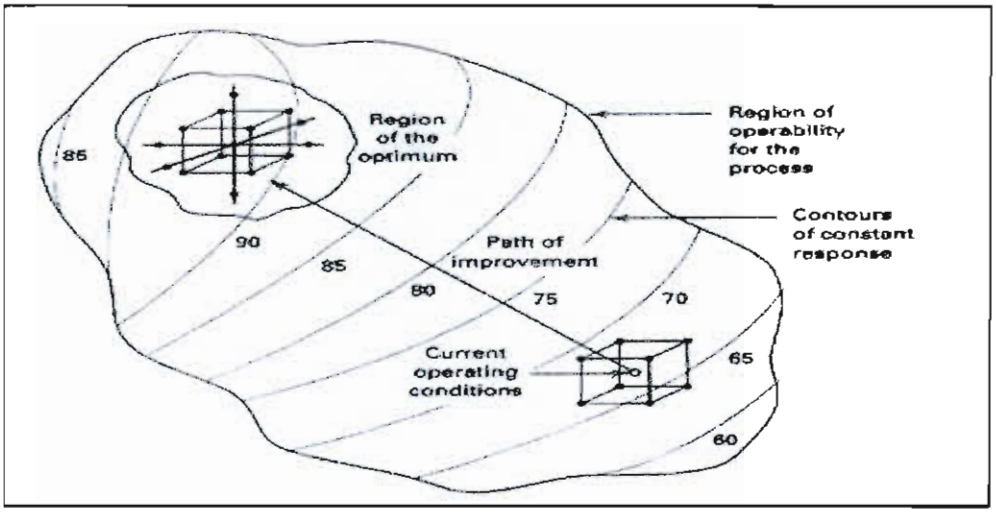


ภาพที่ 2-11 แสดงกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลอง 1 ใน 2 แบบที่กล่าวมาข้างต้นแน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามดังกล่าวเหล่านี้ จะไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่สนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) ดังกล่าวในทฤษฎีของการสร้างแบบจำลองการถดถอย (Fitting Regression Models) แล้วจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบสนองได้เป็นอย่างดีเพียงพอ ดังนั้น การวิเคราะห์พื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้ จะสามารถประมาณค่าได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองสามารถที่จะถูกประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบชนิดนี้เรียกว่าการออกแบบโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งที่เราอยู่ที่จุดบนพื้นผิวผลตอบสนองที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุดแล้ว ตัวอย่างเช่น ณ เงื่อนไขการทำงานปัจจุบัน (ภาพที่ 2-16) ซึ่งจะพบว่าผลตอบสนองของระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้ง และแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลองแล้ว วัตถุประสงค์ คือ การนำการทดลองไปใช้เป็นแนวทางที่มีการปรับปรุงมากที่สุดและอย่างมีประสิทธิภาพสูงสด เพื่อที่จะเป็นการค้นพบกับจุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อค้นพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้วจะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เป็นต้น เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ และการทดลองเช่นนี้จะทำเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุด จากภาพที่ 2-12 จะพบว่าการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองเปรียบเสมือนกับการปีนภูเขา ซึ่งยอดเขามักจะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองสูงสุด หรือกรณีถ้าค่าที่ดีที่สุดคือค่าต่ำที่สุดในที่นี้จะคิดเสมือนการเคลื่อนที่ลงสู่หุบเขา วัตถุประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองคือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจที่สุด



ภาพที่ 2-12 แสดงวิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

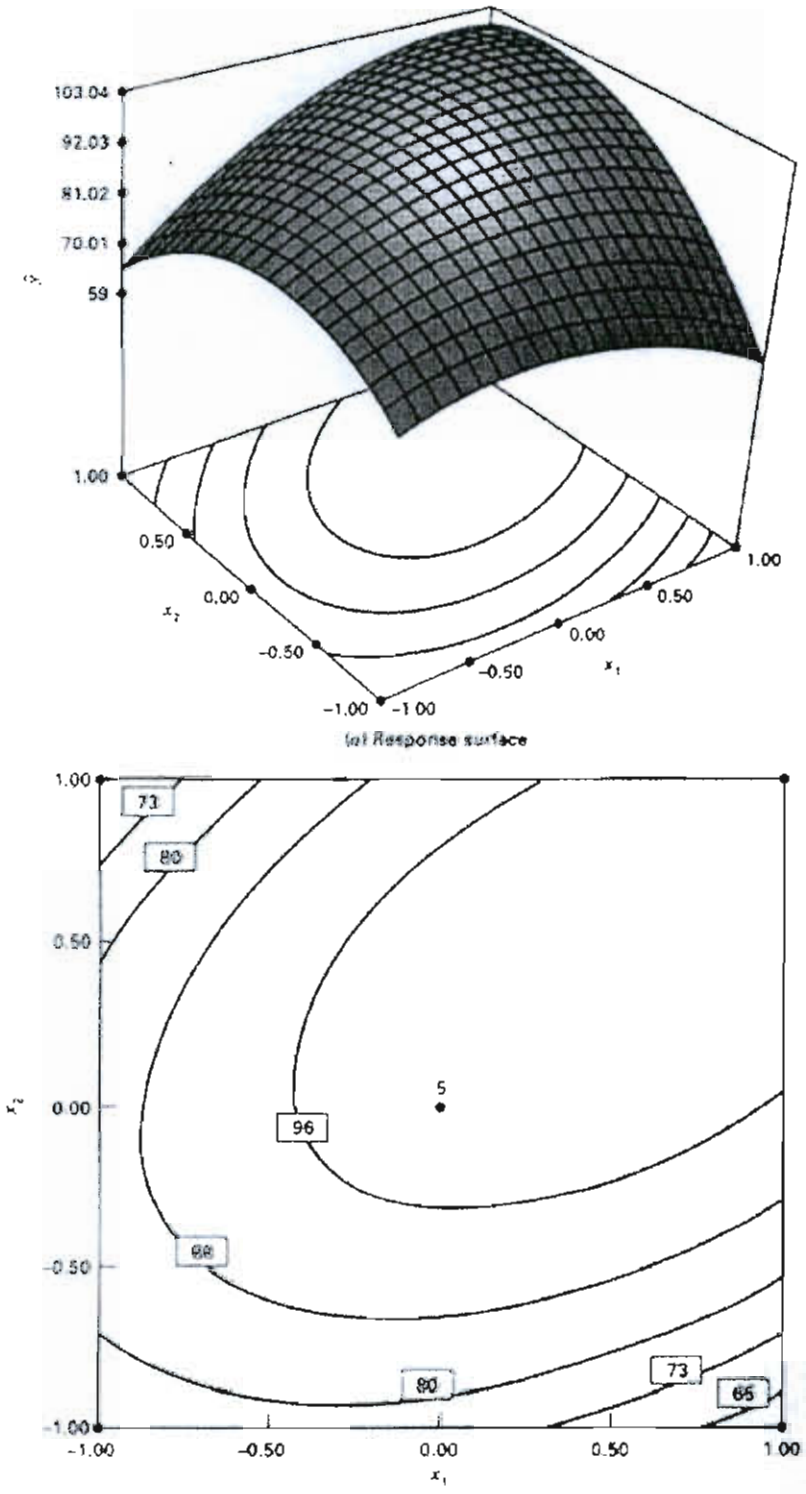
เมื่อผู้ทำการทดลองอยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ดีที่สุดแล้วแบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนอง ส่วนใหญ่แบบจำลองกำลังสองจะมีรูปแบบดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2\text{-}22)$$

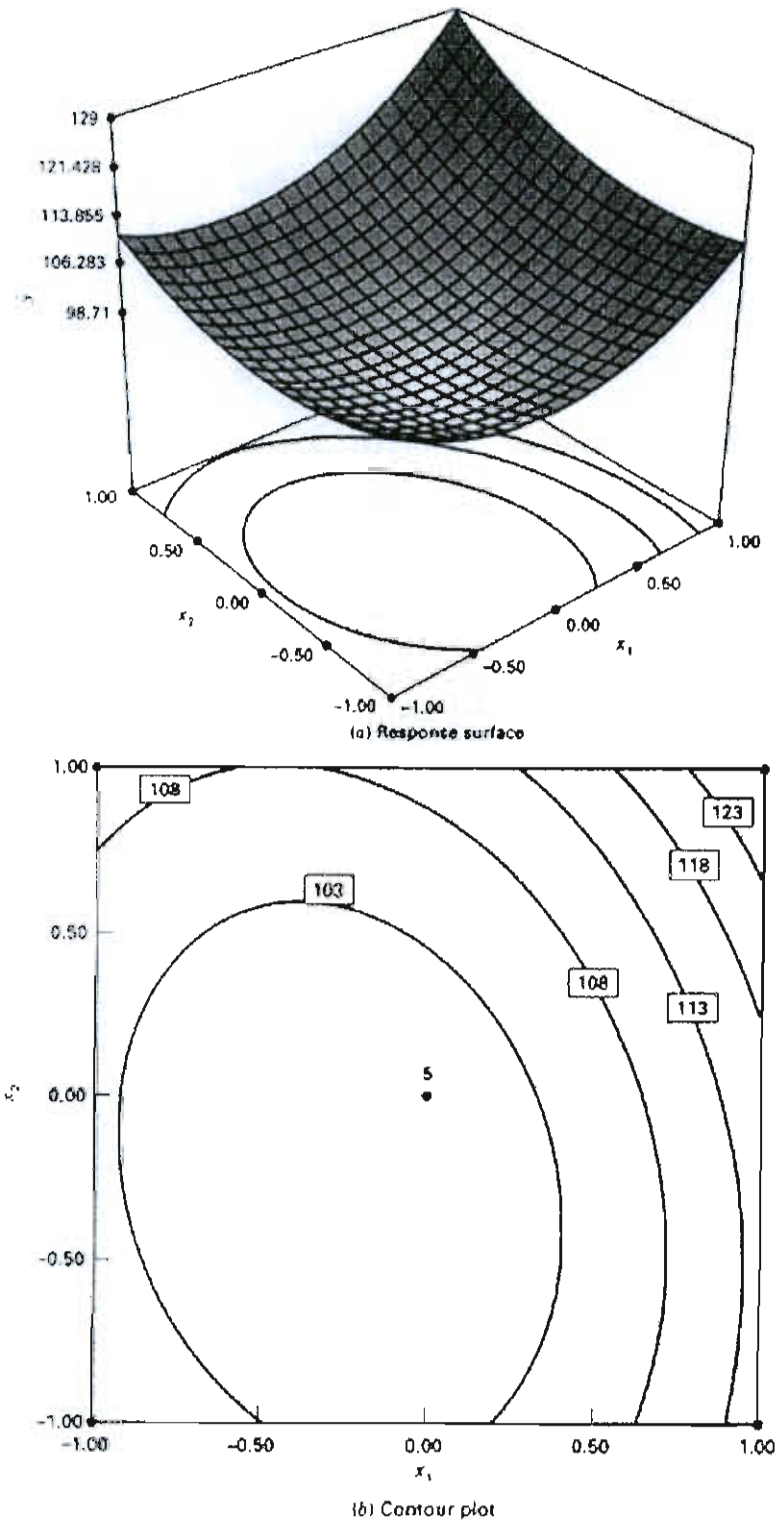
ซึ่งแบบจำลองนี้จะมีความพอเพียง ในส่วนต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงการสร้างแบบจำลองกำลังสอง เพื่อที่จะนำไปสู่การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดต่อไป

ตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง

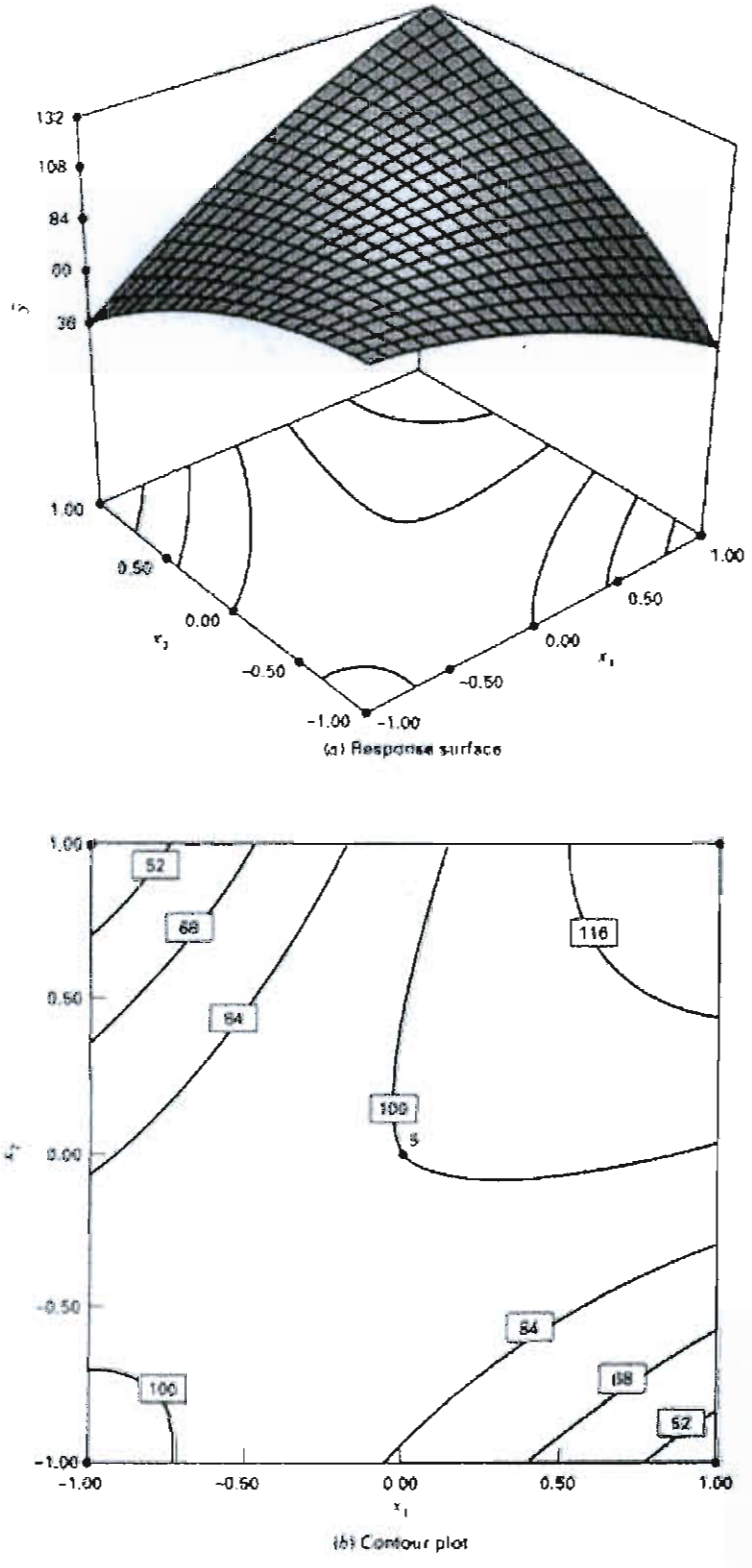
สมมติว่าต้องการที่จะหาลำดับของ $x_1, x_2, \ldots, x_k$ ที่จะทำให้ผลตอบสนองที่มีค่าที่ดีที่สุด จุดนี้ถ้าหากมีอยู่จริงจะหมายถึง เงื่อนไขของจุด $x_1, x_2, \ldots, x_k$ ที่มีค่าของอนุพันธ์แบบบางส่วน (Partial Derivative) $\delta_{\hat{y}} / \delta_{x_1} = \delta_{\hat{y}} / \delta_{x_2} = \ldots = \delta_{\hat{y}} / \delta_{x_k} = 0$ และจะเรียกตำแหน่งของจุด $x_{1,s}, x_{2,s}, \ldots, x_{k,s}$ เหล่านี้ว่า จุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) จุดหยุดนิ่งนี้สามารถใช้ในการแทน (1) จุดที่มีค่าผลตอบสนองสูงสุด, (2) จุดที่มีค่าผลตอบสนองต่ำสุด หรือ (3) จุดอานม้า (Saddle Point) ซึ่งทั้ง 3 ทาง ที่มีความเป็นไปได้แสดงในภาพที่ 2-12 ถึงภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-13 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีผลตอบสนองสูงสุด)



ภาพที่ 2-14 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีค่าผลตอบสนองต่ำสุด)



ภาพที่ 2-15 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสองที่เรียกว่าจุดอานม้า (Saddle Point)

กราฟโครงร่าง (Contour Plot) มีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง การใช้ Software สำหรับสร้างกราฟโครงร่างของพื้นผิวตอบสนองขึ้นมา จะทำให้ทราบถึงรูปร่างของพื้นผิวและตำแหน่งของจุดที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างแม่นยำ

บางครั้งอาจจะสามารถหาคำตอบทั่วไปทางคณิตศาสตร์ สำหรับตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) ได้โดยการเขียนแบบจำลองกำลังสองในรูปแบบเมทริกซ์ (Matrix) ได้ คือ

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx \tag{2-23}$$

โดยที่

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_k \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \qquad \text{และ} \qquad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2, & \cdots, & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \cdots, & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ sym. & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

ซึ่ง b คือเวกเตอร์ขนาด (k x 1) ของสัมประสิทธิ์การถดถอยกำลังหนึ่ง และ B คือ Matrix แบบสมมาตรขนาด (k x k) ซึ่งมีส่วนประกอบในแนวเส้นทแยงมุมหลักเป็นสัมประสิทธิ์ของกำลังสองบริสุทธิ์ ($\hat{\beta}_{ii}$) และส่วนประกอบที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นทแยงมุมเป็นครึ่งหนึ่งของสัมประสิทธิ์กำลังสองผสม ($\hat{\beta}_{ij}, i \neq j$) ค่าอนุพันธ์ของ $\hat{y}$ เทียบกับส่วนประกอบของเวกเตอร์ x มีค่าเท่ากับศูนย์ คือ

$$\delta_{\hat{y}} / \delta_x = b + 2Bx = 0 \tag{2-24}$$

จุดหยุดนิ่งคือคำตอบของสมการที่ 2-24 คือ

$$x_s = -1/2B^{-1}b \tag{2-25}$$

และเมื่อแทนค่าสมการที่ 2-4 ในสมการที่ 2-25 จะพบผลตอบสนองที่คาดหมาย ณ จุดหยุดนิ่ง

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + 1/2x'_s b \tag{2-26}$$

การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้มีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) = SS_{Model}/SS_{Total}

$$SS_{Model} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC} + SS_{ABC}$$

ในกรณีที่มีการเพิ่มปัจจัยเข้าในสมการถดถอย แม้ว่าปัจจัยนั้นจะไม่มีผลต่อตัวแปรตาม จึงต้องปรับสมการ 2-27 เป็นดังนี้

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{SS_E / df_E}{SS_{Total} / df_{Total}} \qquad (2\text{-}27)$$

df_E = จำนวนชั้นความอิสระของปัจจัยความคลาดเคลื่อน

df_{total} = จำนวนชั้นความอิสระของผลรวมผลของปัจจัยทั้งหมด

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าต่ำ สามารถแก้ไขโดย

1. เพิ่มจำนวนการทดลอง
2. ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่
3. ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากการรบกวน (Noise Factor) มีมากต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ (2-28)

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย, τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยที่ i, ε_{ij} คือความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย ต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0,\sigma^2)$ และต้องมีความเสถียรสำหรับความแปรปรวน (Variance Stability) การทดสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่โดยใช้
   - การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 -Goodness of Fit Test)
   - การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kologomorov-Smirnov Test)

- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

ข้อมูลมีกระจายตัวปกติ หมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มจะต้องมีแนวโน้มที่ค่าจะเข้าหาค่าหนึ่งที่คงที่ แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่ได้มีรูปแบบปกติแล้วก็จะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติแล้วแสดงว่าข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการที่มิได้กำหนดมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

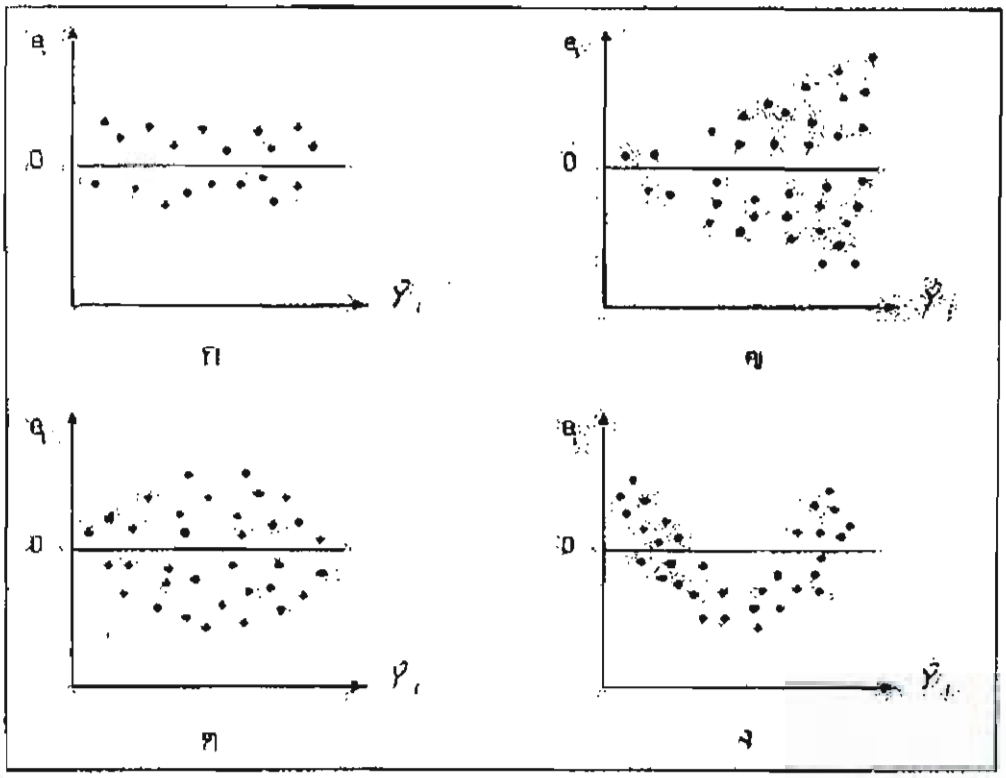
2. การตรวจความเป็นอิสระ (Independent)

โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนที่ข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นอิสระหรือไม่ ข้อมูลมีความอิสระหมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่ใช้ในการสร้างแบบถดถอยจะต้องเป็นอิสระต่อกันอันเนื่องมาจากการสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่มีการสุ่มแล้วจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลมิได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ย หรือค่าความคาดหมายของตัวแปรตาม ดังนั้นถ้าหากข้อมูลไม่มีการสุ่ม แสดงว่าข้อมูลมีความลำเอียง (Bias) จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

3. การตรวจสอบความเสถียรความแปรปรวน (Variance Stability)

โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ในแต่ละระดับของปัจจัยถ้ารูปร่างการกระจายของข้อมูลที่ออกมา ไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) หมายความว่า ข้อมูลจะต้องได้รับการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้จัดทำเป็นมาตรฐานแล้ว จึงทำให้ความแตกต่างของข้อมูลมีค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดขึ้นจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม (Assignable Cause) จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2-16



ก. แสดงถึงตัวแบบที่ถูกต้อง
ข. ทรงโทรโข่ง
ค. ทรงเส้นโค้งสองเส้น
ง. ตัวแบบที่มิใช่เส้นตรง

ภาพที่ 2-16 แสดงรูปแบบกราฟ Residual Plot

ในการทดสอบความเป็นอิสระข้อมูล และการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนนั้น ปกติมักจะทดสอบผ่านแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าใดค่าหนึ่งใน 3 ค่านี้

1. ลำดับก่อเนื่องในการเก็บข้อมูล
2. ค่าประมาณการของค่าควรจะเป็นของตัวแปรตาม (y_i)
3. ค่าตัวแปรถดถอย (x)

โดยรูปแบบการกระจายจะมีตัวแบบดังภาพที่ 2-16 ซึ่งจะได้ผลว่าถ้าหากเป็นไปตามภาพ ก. แสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ และมีความผันแปรคงที่ ในภาพของความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน แต่ถ้าหากเป็นไปตามภาพแบบ ข. ค. ง. แล้ว แสดงว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น

มีความผิดปกติเกิดขึ้น มีความจำเป็นที่ต้องได้รับการแก้ไขก่อการวิเคราะห์ต่อไป โดยภาพ ข. และ ค. จะแสดงถึงภาวะที่ไม่มีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ในขณะที่ภาพ ง. แสดงว่าตัวแบบไม่มีความเหมาะสม

การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นจะมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัต ด้วยการจำแนกสาเหตุออกและเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่ควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากการผิดพลาด การวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นมีความสำคัญต่อการประกันคุณภาพเพื่อคาดการณ์สำหรับการป้องกันปัญหาในอนาคต โดยค่าวัดแต่ละค่าจะประกอบไปด้วยค่าจริงของงานและผลจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ ค่าไบอัส ค่าความผันแปรจากชิ้นงาน ค่าความผันแปรจากพนักงาน ค่าความผันแปรของชิ้นงานและพนักงาน และค่าความผันแปรจากอิทธิพลแบบสุ่ม โดยความผันแปรที่เกิดขึ้นนี้จะจำแนกได้ 3 ประเภทคือ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ และความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาด เป็นความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุความผิดพลาดของระบบการวัด ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำการวัด โดยความคลาดเคลื่อนเช่นนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่สามารถกำจัดได้ด้วยการทำระบบการวัดให้เป็นมาตรฐาน คือกำหนดขั้นตอนและวิธีการที่แน่นอนการฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมอวัดอย่างถูกต้องแล้วดำเนินการประเมินผล

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบเป็นความเบี่ยงเบนของค่าที่ควรจะเป็นจากค่าจริงหรือค่าความเอนเอียงซึ่งมีสาเหตุจากโครงสร้างของเครื่องมือวัดเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังอาจมีผลมาจากปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสอบเทียบสำหรับโครงสร้างของเครื่องมือวัด และควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบการวัด

1. ความคาดเคลื่อนแบบสุ่ม เป็นความผันแปรของข้อมูลสอบค่าที่ควรเป็น ซึ่งจะมีลักษณะตัวแปรสุ่ม โดยมีสาเหตุจากสาเหตุธรรมชาติของงระบบการวัด และไม่สามรถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับให้ลดลงได้ด้วยการแก้ไขระบบการวัดในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะต้องเริ่มต้นจากการกำจัดความผันแปรจากสาเหตุความผิดพลาดก่อนด้วยการทำระบบการวัดให้เป็นมาตรฐาน จากนั้นให้ลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบด้วยการสอบเทียบ และลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการวิเคราะห์ถึงแหล่งความผันแปรให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งในปกติแล้วจะต้องพยายาม ทำให้ความ

ผันแปรโดยรวมของระบบการวัด และกระบวนการผลิตมีค่าต่ำกว่าค่าวามคลาดเคลื่อนอนุโลม ของสเปคในการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด มีประเด็นหลัก ๆ ที่ต้องทำการพิจารณา 5 ประการด้วยกัน คือ

1) ระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่

2) ระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพหรือไม่

3) ระบบการวัดมีคุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่

4) คุณสมบัติเชิงสมบัติของระบบการวัดมีความว่องไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรืออุปกรณ์วัดหรือไม่

5) ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

คุณภาพของข้อมูลจากระบบการวัด

วัตถุประสงค์สำคัญสำหรับการจัดระบบการวัด คือการพิจารณาสารสนเทศด้านความผันแปร เพื่อการประเมินความสามารถของระบบการวัดสำหรับการอธิบาย คือ ความผันแปรของกระบวนการ ดังนั้น ถ้าหากระบบการวัดไม่สามารถอธิบายความผันแปรได้แล้ว ย่อมจะขาดสารสนเทศมากขึ้น การอธิบายความผันแปรของระบบการวัดได้ถือว่าให้ข้อมูลไม่มีคุณภาพ

การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด

ค่าวัดจากระบบวัดใด ๆ จะมีค่าเอนเอียงจากค่าจริงของงาน (μ) เสมอเนื่องจากคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือไบอัส จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดจะมีพิจารณาคุณสมบัติใน 3 ประเด็นคือ

1. คุณสมบัติด้านไบอัส

ค่าไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากคาอ้างอิงหรือมาสเตอร์ (มาสเตอร์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุมหรือห้องปฏิบัติการที่สามารถสอบกลับได้) ค่าไบอัสนี้จะเป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด

2. คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพ

คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพ หมายถึงคุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์การวัด โดยพิจารณาจากความผันแปร โดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากงานวัดมาตรฐาน หรือมาสเตอร์หนึ่งตลอดช่วงเวลา เช่น วัน สัปดาห์

3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity)

คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) ของระบบการวัดจะหมายถึงการที่ค่าไบอัสของ ระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านการวัด (Working Range)

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำนี้จะพิจารณาใน 2 ประเด็นหลักคือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ ที่แสดงถึงถึงความผันแปรของกระบวนการที่ผลิตหรือไม่ ซึ่งคุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้หากจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วสามารจำแนกได้ 2 ประเภทคือ ความสมารถในการทำซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ และความสามารถในการทำเหมือน รีโปรดิวซิบิลิตี้ โดยที่ความสามารถในการทำซ้ำของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน ดังนั้นจึงใช้ค่ารีพีททะบิลิตี้ ในการประเมินค่าความผันแปรของกระบวนการวัดในระยะสั้น (Short-Term Measurement) ส่วนความสามารถในการทำเหมือนของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานเดียวกัน ดังนั้นปกติแล้วค่ารีโปรดิวบิลิตี้ในการประมาณค่าความมันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long – Term Measurement)

ดังนั้นการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (Gage repeatability and reproducibility : GR & R) จะหมายถึง การประเมินผลค่าผันแปรอันเนื่องจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานชิ้นหนึ่งแบบซ้ำ ๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไขไปการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ดังกล่าวนี้ สามารถประเมินได้ 3 วิธีคือ

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) เหมาะกับการทดลองในช่วงสั้น ๆ และไม่มีการวัดซ้ำ วิธีนี้มีข้อดีคือ ประเมินผลได้ง่ายแต่ก็มีข้อเสีย คือไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ ออกจากรีโปรดิวบิลิตี้ วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความปรปรวน เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เพื่อพิจารณาว่าพนักงานวัด และชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีนี้สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้อละรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้ว จะต้องมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Precision-to-Tolerance Ratio : P/T) หรืออาจเทียบจากความผันแปรจากกระบวนการ (Precision-to-Total variation : P/T V)

$$P/T = \frac{GR\&R}{USL-LSL} X\ 100\%$$

$$P/TV = \frac{GR\&R}{process\ variation} X\ 100\%$$

โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

P/T หรือ P/TV < 10% สามารถยอมรับความสามารถของกระบวนการได้

10% ≤ P/T หรือ P/TV < 30% อาจยอมรับได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ

P/T หรือ P/TV ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของกระบวนการวัดได้ต้องหาสาเหตุของความผันแปรและกำจัดทิ้ง

การประเมินผลนี้สามารถดำเนินการได้ 3 วิธีการด้วยกัน คือ วิธีการอาศัยค่าพิสัย (R) วิธีอาศัยค่าเฉลี่ย และพิสัย *(X-R)* และวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 แสดงข้อดีข้อเสียของการประเมินผลทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
วิธีอาศัยพิสัย	- มีความง่ายใช่เวลาน้อย	- ไม่สามารถแยกรีโปรดิวซิบิลิตี้ออกจากรีพีททะบิลิตี้
วิธีอาศัย X-R	- แยกรีโปรดิววิบิลิตี้ออกจากรีพีททะบิลิตี้ได้	- ไม่สามารถแยกอิทธิพลร่วมจากรีพิททะบิลิตี้ได้
วิธีอาศัย ANOVA	- แยกอิทธิพลร่วม และรีโปรดิวซิบิลิตี้ออกจากรีพีท-ทะบิลิตี้ได้	- มีการคำนวณที่ยุ่งยาก

ในการประเมินผลคุณสมบัติด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ออกจากรีพีททะบิลิตี้มีความจำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติด้านความไว ความมีเสถียรภาพ และความสม่ำเสมอก่อนเสมอ ถ้าหากคุณสมบัติดังกล่าวมิได้เป็นไปตามข้อกำหนดแล้ว ผู้ประเมินผลมีความจำเป็นต้องแก้ไขให้ถูกต้องก่อนแล้วจึงประเมินผลด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ และรีพีททะบิลิตี้ สำหรับการประเมินผลด้าน

รีโปรดิวซิบิลิตี้ และรีพีททะบิลิตี้ สามารถประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะในรูปของ P/T หรือ Precision-To-Tolerance และถ้าหากจะประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ จะประเมินผลในรูป P/TV หรือ Precision-to-Total Variation โดยความผันแปรของกระบวนการอาจจะพิจารณาได้จากการประเมินความสามารถของกระบวนการ หรือการประมาณค่าจากข้อมูลที่วัดได้ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาก่อนเสมอว่าข้อมูลวัดที่ได้มีคุณสมบัติในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้หรือไม่ โดยการพิจารณาผ่านค่า ndc ซึ่งจะอธิบายถึงความผันแปรจากการะบวนการผลิตว่ามีค่ามากพอหรือไม่เมื่อเทียบกับความผันแปรจากระบบการวัด และข้อมูลการวัดที่มีคุณสมบัติในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการผลิตได้จะต้องมีค่า ndc ไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท แต่ความผันแปรอีกลักษณะคือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause of Variation) โดยถือว่าข้อมูลนั้นไม่มีเสถียรภาพไม่สามารคลาดการได้ และปัจจัยต่างที่มีผลต่อคุณภาพของการวัดและวิเคราะห์ออกมาในรูปของ Bias, Stability (ความเสถียร), Linearity (เชิงเส้นตรง), Repeatability (ความสามารถของตัวเครื่องมือที่จะได้ค่าซ้ำ ๆ) รวมถึงการศึกษาและวัดคุณภาพของ Go-No Go Gauge ถ้าได้รับการติดตามผลและการปรับปรุง ก็จะทำให้ระบบมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและสามารถลดความผันแปรที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยลงได้สำหรับแนวความคิด หลักการดลอดจนวิธีการในการประมาณผลและการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อทำความเข้าใจถึงแหล่งของความผันแปรจากระบบการวัดและการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อให้ระบบการวัดมีความสามารถในการแยกแยะความผันแปรของผลิตภัณฑ์และกระบวนการได้ โดยระบบการวัดหมายถึง "สิ่งที่รวบรวมไว้ซึ่งอุปกรณ์วัด คุมหรือเกจวัดมาตรฐาน การปฏิบัติงาน วิธีการ อุปกรณ์จับยึด ซอฟต์แวร์ บุคลากร สิ่งแวดล้อมและข้อสมมุติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของหน่วยวัดหรือประเมินคุณลักษณะที่ได้รับการวัด" และในปัจจุบันกลยุทธ์การแก้ปัญหาแบบ DMAIC ในขั้นตอนของการวัดมักมีการทวนสอบความผันแปรจากระบบการวัดเพื่อให้มีความมั่นใจว่าปัญหาที่ได้นิยามมานั้น มิได้มีผลมาจากระบบการวัดแต่ประการใด

การสำรวจงานวิจัย

เอกรัฐ เมนะจินดา (2542) ได้ทำการศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาเพื่อประมาณหารูปแบบความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่นักสถิติหรือผู้วิจัยสนใจศึกษาโดยนักสถิติหรือผู้วิจัยสามารถนำการทดลองไปใช้เป็นแนวทางเพื่อกำหนดแผนการทดลองและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งทำให้การทดลอง

เกิดประโยชน์สูงสุด การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนคือ

1. การทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัยเริ่มต้น

2. การหาขอบเขตของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้วิธี Steepest of ascent or descent into the region of the optimal levels of factor

3. การทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้เทคนิคการวางแผนการทดลองจุดศูนย์กลาง

4. การหาระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ธนพงศ์ เวชพงษ์ (2538) ได้ทำการศึกษาสาเหตุ และปรับปรุงกระบวนการเจาะเพื่อลดการเกิดผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิต โดยมุ่งที่กระบวนการผลิตในสายการผลิตบี ซึ่งเป็นกระบวนการวิกฤต เนื่องจากมีการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องมากที่สุดในโรงงาน การดำเนินการวิจัยมีการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในลักษณะต่าง ๆ เพื่อแก้ไขปัญหา มีการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ถูกต้อง และแม่นยำและเป็นข้อมูลที่ไม่มีความผันแปรและผิดพลาดจากการวัด จึงได้มีการวิเคราะห์ระบบการวัด ของระบบการเจาะซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถยอมรับความสามารถของระบบการเจาะได้ จึงได้ดำเนินการในขั้นต่อไป โดยการศึกษาความสามารถของกระบวนการเจาะ ซึ่งเป็นการพิจารณาเพื่อบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการทำงาน ความผันแปรในกระบวนการ และพิจารณาถึงความคงที่ของกระบวนการ จากผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการ พบว่ากระบวนการเจาะมีค่าดัชนี Cp, Cpk ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และกระบวนการเจาะมีกระบวนการทำงานที่ไม่คงที่ จึงจำเป็นจะต้องดำเนินการเพื่อลดความผันแปรต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยการจัดมาตรฐานกระบวนเจาะ ในการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการทางสถิติในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเบื้องต้น ดำเนินการโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล และแบบสอบถามสาเหตุและผล และการยืนยันสาเหตุของปัญหาได้การออกแบบการทดลอง แบบการทดลองหลายปัจจัยเมื่อแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k Factorial Design Experiment) โดยมีปัจจัยที่ให้ความสนใจ 3 ปัจจัยคือ เศษจากการเจาะสว่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรีเมอร์ ความตรงของมุมต่อดอกสว่าน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นการวิเคราะห์และ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เศษจากการเจาะเข้าไปติดค้างในรูเจาะ จนไปถึงกระบวนการรีเมอร์ ซึ่งจะก่อให้เกิดรูเจาะเกินขนาด โดยเจ้าหน้าที่ของโรงงานได้ทำการออกแบบเครื่องปัดเศษ และออกแบบปรับกระบวนการเจาะให้มีลักษณะการเจาะเป็นจังหวะ และหยุดให้ดอกสว่านหมุนอยู่กับที่เพื่อปัดเศษ ซึ่งผลของการปรับปรุงกระบวนการเจาะสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากปัญหา

รูเจาะเกินขนาดเดิมซึ่งมากกว่าเป้าหายที่ตั้งไว้ คือ จะทำการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องลงร้อยละ 70 ของผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากปัญหารูเจาะเกินขนาด

ศิริรัตน์ เซียวประยูร (2540) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการหล่อฝาสูบอะลูมิเนียมโดยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ ซึ่งปัญหารอยรั่ว (Leak) ในงานหล่ออะลูมิเนียมนี้พนักงานไม่สามารตรวจสอบด้วยสายตาได้เนื่องจากภายในเป็นท่อผ่านน้ำหล่อเย็นและน้ำมันของเครื่องยนต์ ซึ่งปัญหาด้าน (Leak) เป็นปัญหาอันดับหนึ่งของกระบวนการผลิตฝาสูบอะลูมิเนียมนี้ เป้าหมาย คือ ลดเปอร์เซ็นต์ของเสียจาก 90.1% ของอาการเสียทั้งหมดนี้ให้ลดลงน้อยที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์สาเหตุรากเง้า โดยการระดมสมอง (Brainstorming) โดยใช้ผู้มีความรู้เฉพาะทาง (Expertise) ซึ่งได้ปัจจัยทั้งหมด 17 ปัจจัย จากนั้นได้นำปัจจัยทั้ง 17 ปัจจัยนี้มาประเมินผลให้คะแนนค่าความรุนแรงของผลกระทบ โอกาสการเกิดและผลการตรวจจับของระดับควบคุม เพื่อแสดงลำดับความสำคัญของการเสี่ยงที่จะทำให้เกิดปัญหาโพรงหดตัว ซึ่งจากค่า RPN งานวิจัยนี้ได้นำคะแนน RPN มาทำการวิเคราะห์ผ่าน พาเรโต เพื่อดูความมีเสถียรภาพของข้อมูลซึ่งจากพาเรโต พบว่าที่สุด มีทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อัตราน้ำหล่อเย็นด้านล่าง อุณหภูมิอุ่นแบบหล่อด้าน Font และการเทความร้อนของแบบหล่อ โดยนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการออกแบบการทดลองแบบ 1 เรพิเคตโดยที่งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรตอบสนองได้ใช้ค่าอัตราการแข็งตัวของอะลูมิเนียมในตำแหน่งด้าน Front โดยวัดครั้งละ 3 ระดับ คือด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบนซึ่งจากผลการทดลองแบบ 1 เรพลิเคต นั้นได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ อัตราน้ำหล่อเย็นด้านล่างปรับตั้งค่าไว้ที่ 60 litre/ min อุณหภูมิแบบหล่อด้าน Front ปรับตั้งค่าไว้ที่ 190-210 องศาเซลเซียสและการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ ต้องใช้แบบหล่อที่ปรับปรุงใหม่แต่งานวิจัยนี้มีข้อเสียคือตรงที่การติดตามผลนั้นใช้ระยะเวลานาน งานวิจัยนี้จึงได้ใช้การคาดคะเนผล ว่าจะสามารถทำให้งานเสียประเภทรั่วที่เกิดจากโพรงหดตัวภายในปริมาณที่ลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของเสียโดยรวมลดลง ทำให้ลดต้นทุน (Cost) ของผลิตภัณฑ์ลง

สมศักดิ์ วรรณชัย (2549) ได้ทำการศึกษาเพื่อกำหนดปัจจัย ที่มีผลต่ออิทธิพลในการผลิตกระดาษสาที่ย้อมสีด้วยวัสดุธรรมชาติ โดยใช้ครั่งและขมิ้นในกระบวนการทำแห้ง ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างตู้อบสามารถอบ กระดาษสาได้ครั้งละ 12 เฟรมโยใช้หลอดไฟเป็นตัวให้ความร้อน อุณหภูมิของตู้อบอยู่ระหว่าง 30°C ถึง 80°C ค่าผิดพลาด $\pm$ 0.5 โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้ประเมินผลกระบวนการทำแห้งโดยการตากแดด และใช้ตู้อบ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงสถิติและสามารถถ่ายทอดการผลิตสู่ชุมชน และเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้มีมูลค่าสูงขึ้น ในหลักการศึกษาวิจัยใช้หลักการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ด้วยการออกแบบส่วนประสมการ (Central Composite Design; CCD) ทดลองกับการย้อมสี

กระดาษสาด้วยครั่งและขมิ้น เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ในการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน คือ การทดลองครั้งแรก เพื่อหาช่วงระดับของปัจจัย การทดลองครั้งที่สองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยจากแบบจำลองและการทดลองครั้งสุดท้ายเพื่อยืนยันผลของปัจจัยที่เหมาะสมจากการย้อมสีกระดาษสาด้วยครั้งและขมิ้น

จากผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 พบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสม ต่อกระบวนการทำแห้งของกระดาษสาที่ย้อมด้วยครั้งและขมิ้น โดยการตากแดดที่ระดับความพึงพอใจโดยรวม 0.98952 และ 0.99098 ตามลำดับ เวลาในการตากแดดเท่ากับ 190 นาที ความชื้นของกระดาษสาเท่ากับ 80% และ 80% และค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ย้อมด้วย ขมิ้นและครั่งโดยใช้ตู้อบที่ระดับความพึงพอใจโดยรวม 0.99571 และ 0.98578 ตามลำดับ เวลาในการอบเท่ากับ 262 นาที และ 262 นาที ความชื้นของกระดาษสาเท่ากับ 84% และ 82% อุณหภูมิ 40°C และ 40°C ตามลำดับ

ทวีป จีระประดิษฐ์ (2538) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะในกรรมวิธีอีดีเอ็ม โดยได้ศึกษาเงื่อนไขการแปรรูปของโลหะของ 3 ตัวแปร ได้แก่ กระแสช่วงพัลส์ และเซอร์โว ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการกัดเนื้อโลหะ อัตราการสึกหรอ ความหยาบ และโอเวอร์คัต โดยอาศัยวิธีแฟคทอเรียลดามการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองเป็นพื้นฐานของการวิจัย และสร้างสมการออโธโกนอลโพลินอร์เมียลของอัตราการกัดเนื้อโลหะ อัตราการสึกหรอ ความหยาบ และโอเวอร์คัดในรูปของ 3 ตัวแปร จากผลการทดลองเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อการเพิ่มของอัตราการกัดเนื้อโลหะ อัตราการสึกหรอ และความหยาบของผิวงานลดลง แต่โอเวอร์คัตเพิ่มขึ้น ที่เซอร์โวระดับ 4 จะให้อัตราการกัดเนื้อโลหะ และโอเวอร์คัตสูงสุด แต่ที่เซอร์โวระดับ 2 และ 4 จะให้อัตราการสึกหรอลดลง แต่ความหยาบผิวงานเพิ่มขึ้น

Cheng, Shao-Wei and Wu ,C.F.J. (2001) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การกรองปัจจัยและพื้นผิวดอบ โดยการใช้การออกแบบที่เรียกว่า Single design ขั้นตอนคือทำการฉาย (Projection) ช่วงของปัจจัยที่มีขนาดใหญ่กว่าเข้าไปในช่วงของปัจจัยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้ประหยัดขั้นตอนที่เชื่อมโยงระหว่างการกรองปัจจัย (Factor Screening) และพื้นผิวผลดอบ (Response Surface) ซึ่งโดยปกติมาตรฐานของ Response Surface Methodology (RSM) จะมีอยู่ 2 ส่วนคือ

1. ทำการทดลองโดยการกรองปัจจัยที่ไม่สำคัญออกไป โดยอยู่บนพื้นฐานของการออกแบบอันดับหนึ่งเช่น 2 n-k Fractional factorial Design Plackelt-Burman Design

2. ศึกษาลึกลงไปในพื้นผิวดอบ โดยมีปัจจัย 2-3 ตัว และพิจารณาบนพื้นที่ที่เล็กกว่าโดยอยู่บนพื้นฐานของการออกแบบอันดับสอง เช่น Central Composite Design (CCD) ในหลักการวิธีใหม่ของงานวิจัยนี้มีขั้นดอนดังนี้

1) ทำการกรองปัจจัย และกำหนดปัจจัยที่สำคัญ

2) ทำการฟิตแบบจำลองอันดับสองของปัจจัยที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 ทั้ง 2 ขั้นตอนดังกล่าวนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

การกรองปัจจัยในขั้นดอนที่ 1

การฉาย (Projector) ที่เชื่อมโยงระหว่างขั้นตอนที่ 1 และขั้นดอนที่ 2

การดรวจสอบด้วยพื้นผิวผลดอบของขั้นดอนที่ 2

ภวะพล ภู่พูลทรัพย์ (2551) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ก๊าซผสมปกคลุมสำหรับเหล็กกล้าเอสเอส 400 (Gas Metal Arc Welding : GMAW) โดยเริ่มต้นจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มจำนวน (24) โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยทำการกรองปัจจัย 4 ปัจจัยได้แก่ กระแสเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และปริมาณก๊าซผสมปกคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม แล้วนำมาออกแบบการทดลองอีกครั้งเพื่อวิเคราะห์หาผลดอบที่ดีที่สุด

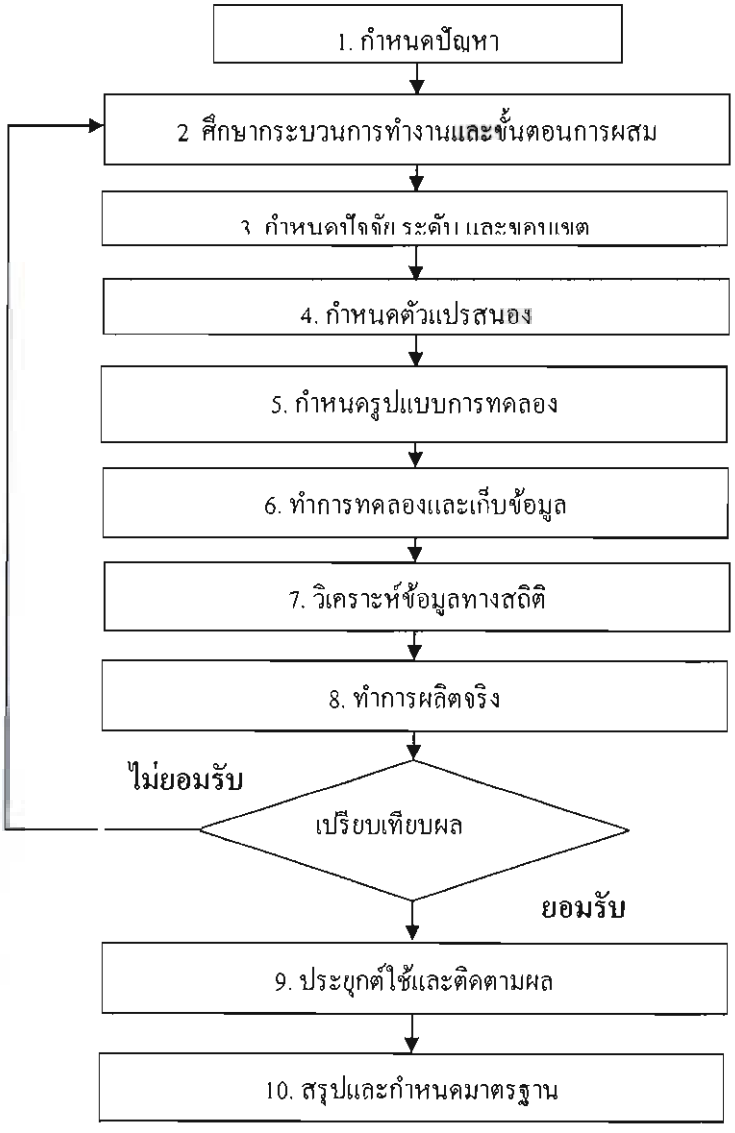
ผลการศึกษาพบว่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ระดับแอลฟ่าท่ากับ 0.05 พบว่าค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ คือ กระแสไฟเชื่อมเท่ากับ 350 แอมป์ แรงดันไฟเชื่อมเท่ากับ 22 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อมเท่ากับ 23 เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 495.1412 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ชาคร กฤชอาคม (2550) ได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาด้านการปรับตั้งปัจจัยต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขัดผิวสำเร็จด้วยการพ่นเม็ดเซรามิค ซึ่งมีข้อกำหนดให้ความเรียบผิวของชิ้นงานไม่เกิน 3 ไมโครเมตร ปัญหาที่พบคือการปรับตั้งเครื่องจักรยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน ส่งผลให้การขัดผิวให้ได้ความเรียบผิวตามข้อกำหนดใช้เวลานานถึง 60 นาทีโดยเฉลี่ยต่อครั้งของการปรับตั้ง เนื่องจากมีปัจจัยที่คาดวาส่งผลความเรียบผิวถึง 6 ปัจจัย และทีมงานไม่ทราบทั้งระดับละทิศทางของผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อวามความเรียบผิว เพื่อแก้ปัญหานี้ ผู้วิจัยได้นำการออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial มาประยุกต์ใช้

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญตลอดจนระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ส่งผลให้รอบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้ได้ค่าความเรียบของผิวสำเร็จที่ต้องการลดลงจากเดิม เหลือเพียง 5 นาที จึงสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองสามารถช่วยด้านการปรับตั้งระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานในกระบวนการทำผิวสำเร็จด้วยการพ่นด้วยเม็ดเซรามิคลดลงอย่างประสิทธิภาพ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากจุดประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้ คือ การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผสมโลชั่นชนิด A ที่บริษัทผู้รับเหมา และกำหนดกระบวนการผสมโลชั่นชนิด A เพื่อใช้ในการผสมสินค้าที่บริษัทผู้รับเหมาเพื่อให้คุณภาพตรงตามบริษัทต้นแบบ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

โดยในหัวข้อที่ 1 จะแสดงเนื้อหาไว้ในบทที่ 1, หัวข้อที่ 2, 3 , 4, 5 และ 6 จะแสดงเนื้อหาไว้ในบทที่ 3, หัวข้อที่ 7, 8 และ 9 จะแสดงในบทที่ 4, หัวข้อที่ 10 จะแสดงในบทที่ 5 ในการวิจัยนี้มีรายละเอียดการดำเนินการทดลองดังนี้

ศึกษาปัญหาในงานวิจัย (Recognition of and statement of the problem)

จากการวิเคราะห์ปัญหาในเบื้องต้น (แสดงในบทที่ 1 ตารางและภาพที่ 1-1) พบว่าปริมาณความต้องการสินค้าโลชั่นมีมากกว่ากำลังการผลิตที่ทางบริษัทสามารถทำได้ จึงมีนโยบายจ้างบริษัทรับจ้างผลิตในการผลิตแทน และผลิตภัณฑ์ที่ทางบริษัท S มอบหมายให้ผู้วิจัยทำการศึกษาคือ โลชั่นชนิด A เนื่องจากเป็นสูตรต้นแบบของโลชั่นอีกหลายตัวที่จะสามารถนำข้อมูลการผลิตที่ได้ไปอ้างอิงการผลิตโลชั่นตัวต่อไป

ทางบริษัทต้นแบบได้ทำการคัดเลือก บริษัท Quality เป็นตัวแทนผู้รับจ้างในการผลิตสินค้าโลชั่นชนิด A และได้มอบหมายให้ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตสินค้าโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต ดังนั้นปัญหาที่จะทำการแก้ไขในงานวิจัยนี้คือ การหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิตเพื่อให้ค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และมีคุณภาพสอดคล้องกับการผลิตที่บริษัทต้นแบบ

ตารางที่ 3-1 แสดงความต้องการสินค้าประเภทโลชั่นในปี 2554 เทียบกับกำลังการผลิต

ลำดับ	เดือน	ปริมาณความต้องการ(ตัน)	กำลังการผลิต (ตัน)	ส่วนที่ไม่สามารถผลิตได้ (ตัน)
1	มกราคม	580		-
2	กุมภาพันธ์	790		90
3	มีนาคม	800		100
4	เมษายน	790		90
5	พฤษภาคม	700		-
6	มิถุนายน	1100		400
7	กรกฎาคม	1000	700	300
8	สิงหาคม	1300		600
9	กันยายน	1400		700
10	ตุลาคม	950		250
11	พฤศจิกายน	1200		500
12	ธันวาคม	850		150

ศึกษากระบวนการทำงาน และขั้นตอนการผสม

รวบรวมความรู้เกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมทั้งเอกสารในการผสมสินค้าโลชั่นชนิด A ของบริษัทต้นแบบ ศึกษาข้อมูลของบริษัทรับจ้างผลิตในเรื่อง ชนิดของเครื่องจักร กระบวนการทำงาน พนักงานที่ปฏิบัติงานสภาพแวดล้อมในการทำงานสำรวจสภาพปัจจุบันและการทำงานของบริษัทเก็บข้อมูลเพื่อเลือกปัญหาที่จะนำมาแก้ไขดังนี้

1. สถานที่ประกอบการ

บริษัท S เป็นบริษัทรับจ้างผลิตเครื่องสำอางที่มีขนาดใหญ่ของประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตแบ่งเป็น 2 ผลิตภัณฑ์หลัก คือ กลุ่ม Personal Care Product เช่น โลชั่น ครีม แชมพู ครีมนวดผม และกลุ่มผลิตภัณฑ์ Make Up เช่น ลิปสติก แป้งพัฟ อายชาโด บลัชออน รองพื้น มาคาร่า เป็นต้น ซึ่งทางบริษัทผลิตสินค้าที่หลากหลาย และได้มาตรฐานสูงเพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้า จึงมีลูกค้าทั้งภายในและต่างประเทศจำนวนมากมาย

2. การบริหารงานของบริษัท

ลักษณะการบริหารงานจะดำเนินการโดยฝ่ายบริหาร ซึ่งเป็นคณะคนไทยโครงสร้างขององค์กรมีการกำหนดขอบเขตหน้าที่รับผิดชอบอย่างชัดเจนภายใต้ 3 ส่วนหลักได้แก่

2.1 ส่วนงานบริหาร (Administration) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ส่วนย่อยคือ

ก. ส่วนการตลาด (Marketing) ดูแลงานด้านการขายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

ข. ส่วนการสรรหา (Purching) ดูแลงานด้านการจัดซื้อวัดถุดิบทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

ค. ส่วนการเงินและบัญชี (Accounting & Finance) ดูแลการเงิน-บัญชี

ง. ส่วนทรัพยากรมนุษย์ (Human resource) ดูแลด้านทรัพยากรบุคคล

จ. ส่วนการชีวอนามัยและความปลอดภัย (Occupation Health and Safety) ดูแลด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

2.2 ส่วนงานผลิต (Production) รับผิดชอบดูแลงานในส่วนการผลิตทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วยฝ่ายผลิต (Production) ฝ่ายวางแผนการผลิต (Production Control) ฝ่ายบรรจุ (Packing) ฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance) และฝ่ายโกดังสินค้า (Ware House) ในโรงงานมีผู้จัดการโรงงาน และผู้จัดการฝ่ายผลิตเป็นผู้รับผิดชอบหลักโดยมีการผลิตตามคำสั่งซื้อ (Make to Order) ของลูกค้า นอกจากนี้ยังมีทีมงานซ่อมบำรุงคอยดูแลรับผิดชอบในส่วนของเครื่องจักร และการซ่อมบำรุง ฝ่ายโกดังสินค้าและดูแลในส่วนการจัดเก็บและเบิกจ่ายวัตถุดิบและสินค้าคงคลัง

2.3 ส่วนงานเทคนิค (Technical) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อย คือ

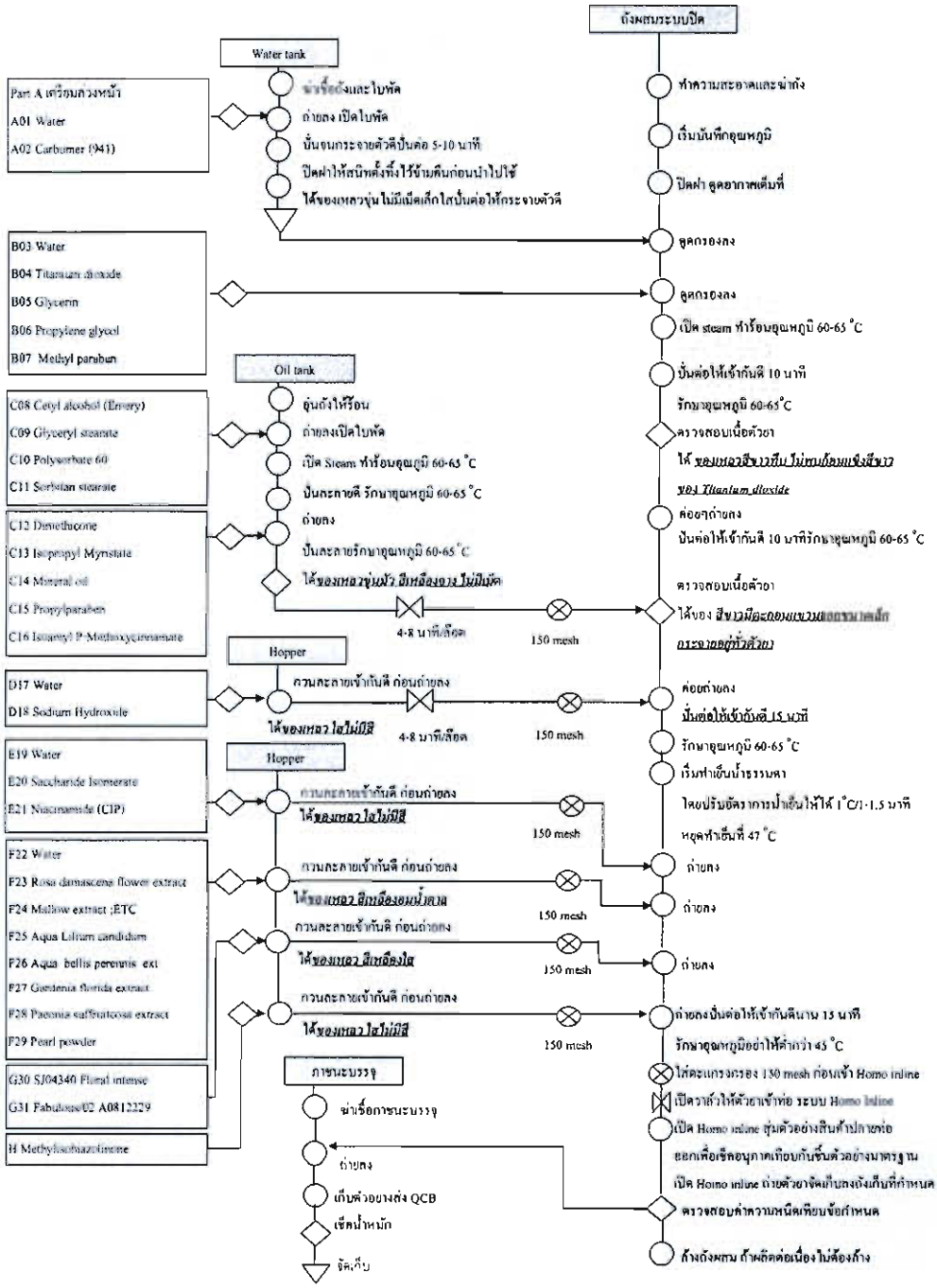
ก. ส่วนประกันคุณภาพ (Quality Assurance) ดูแลงานในเรื่องของคุณภาพ และแก้ไขปัญหาที่เกิดจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

ข. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Research and Development) ดูแลงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ และพัฒนาวัตถุดิบชนิดใหม่

ค. ส่วนวิศวกรรม (Engineering) ดูแลกระบวนการผลิตและกระบวนการบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

กระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A มีขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ผังกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A

ในกระบวนการผสมโลชั่นชนิด A มีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 11 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบ Carbomer กับน้ำ เตรียมทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง และทำการปั่นซ้ำ 10 นาที ก่อนใช้งาน ถ่ายวัตถุดิบที่เตรียมได้ลงผสมพร้อมปั่นกวน

2. เตรียมวัตถุดิบวัคฏภาคน้ำที่ประกอบไปด้วยวัตถุดิบ น้ำ, Titanium Dioxide, Glycerin, Propylene Glycol และ Methyl Paraben ในถังละลายปั่นกวนให้เข้ากันดี ถ่ายวัคฏภาคน้ำที่เตรียมได้ลงถังผสม ทำร้อนอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสพร้อมปั่นกวน

3. เตรียมวัตถุดิบวัคฏภาคออยที่ประกอบด้วยวัตถุดิบ Cetly Alcohol, Glyceryl Stearate, Polysorbate 60, Sorbitan Stearate, Dimethicone, Isopropyl Myristate, Minera Oil, Propyl Paraben และ Isoamy-Methoxycinnamate ในถังละลายปั่นกวนจนวัตถุดิบละลายหมดพร้อมทำร้อนอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสถ่ายวัคฏภาคออยลงถังผสม (Emulsification) พร้อมปั่นกวน

4. เตรียมวัตถุดิบ Sodium Hydroxide กับน้ำในภาชนะที่เหมาะสมถ่ายลงถังผสมพร้อมปั่นกวน (Neutralization) ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส

5. ลดอุณหภูมิในถังผสมจาก 60-65 องศาเซลเซียสถึง 47 องศาเซลเซียส

6. เตรียมวัตถุดิบ น้ำ, Saccharide Isomerate ให้ละลายเข้ากันดีในภาชนะที่เหมาะสมถ่ายลงพร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส

7. เตรียมวัตถุดิบ น้ำ, Rosa Damascene Flower Extract, Mallow Extract, Aqua Lilum Candidum, Aqua Bellis Perennis Ext, Gardenia Florida Extract, Paeonia Suffruitcosa Extract และ Pearl Powder ให้ละลายเข้ากันดี ถ่ายลงถังผสมพร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส

8. เตรียมวัตถุดิบ SJ04340 Floral Intense และ Fabulous /02 A0812229 ให้ละลายเข้ากันดีในภาชนะที่เหมาะสม ถ่ายลงถังผสมพร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส

9. ถ่ายวัตถุดิบ Methylisohiazolinone ลงถังผสมพร้อมปั่นกวน

10. ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในถังผสมทั้งหมดเข้ากันดีโดยผ่าน Homogemizer ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

11. ตรวจสอบค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ จากการเข้าไปศึกษาสภาพการทำงาน และกระบวนการผลิตสินค้าของบริษัทผู้รับเหมา พบว่าปัจจัยที่แตกต่างไปจากบริษัทต้นแบบที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นคือ เครื่องจักร (ถังผสม) ซึ่งเป็นรุ่นที่แตกต่างกัน ที่มีชนิดของใบปาด ใบกวน และชนิดของหัว Homogenizer ที่แตกต่างกันคุณลักษณะทางคุณภาพ และความสามรถปัจจุบันของบริษัทต้นแบบ ความผันแปรในกระบวนการผสมโลชั่นมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เช่นคุณภาพของวัตถุดิบ อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้

ในการผลิต อุณหภูมิการผลิต ความเร็วรอบของใบปาด ความเร็วรอบของใบกวน ชนิดของ Homogenizer อัตราการทำเย็น เวลาในการปั่นกวน เป็นต้น ทำการวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการผลิตของบริษัทต้นแบบเพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการผลิตของบริษัทต้นแบบที่มีอยู่สามารถนำไปใช้ในการผลิตที่บริษัทผู้รับเหมาได้ โดยทำการเก็บข้อมูลค่าความหนืดที่ผลิตได้ของโลชั่นชนิด A ที่บริษัทต้นแบบจำนวน 50 batch ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม 2553 ดังตารางที่ 3-2 มาทำการวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการดังภาพที่ 3-2

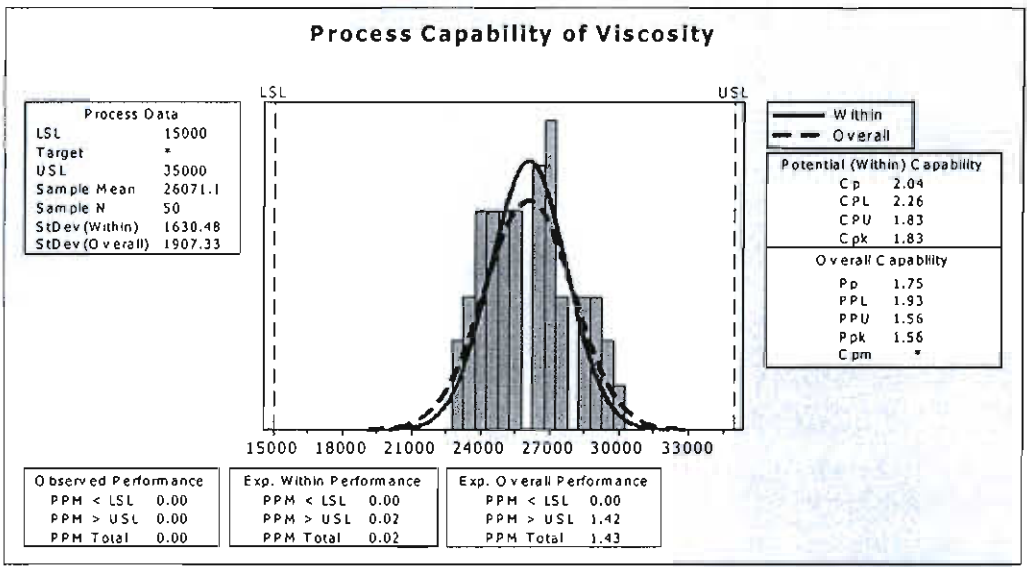
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลค่าความหนืดของโลชั่น A จำนวน 50 batch ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม 2553

Batch	ค่าความหนืด (Cps.)	Batch	ค่าความหนืด (Cps.)
1	28560	26	27200
2	28825	27	27650
3	26815	28	25190
4	24100	29	25620
5	24295	30	27540
6	25515	31	29600
7	23785	32	23695
8	25050	33	26385
9	24560	34	29800
10	24805	35	29100
11	28550	36	25285
12	28775	37	26855
13	23415	38	25720
14	26675	39	24740
15	26615	40	23045
16	26655	41	23785
17	27070	42	24270
18	28540	43	26950
19	25035	44	23820

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลค่าความหนืดของโลชั่น A จำนวน 50 batch ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม 2553 (ต่อ)

Batch	ค่าความหนืด (Cps.)	Batch	ค่าความหนืด (Cps.)
20	29650	45	27105
21	26345	46	24800
22	27240	47	23550
23	25465	48	23040
24	24510	49	23960
25	27500	50	26500

จากการนำข้อมูลค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A ที่ผลิตได้จากบริษัทต้นแบบดังตารางที่ 3-2 มาทำการวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการดังภาพที่ 3-3 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ของบริษัทต้นแบบมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีค่า Cpk เท่ากับ 1.83 จึงสามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงการผลิตที่บริษัทผู้รับจ้างผลิตได้

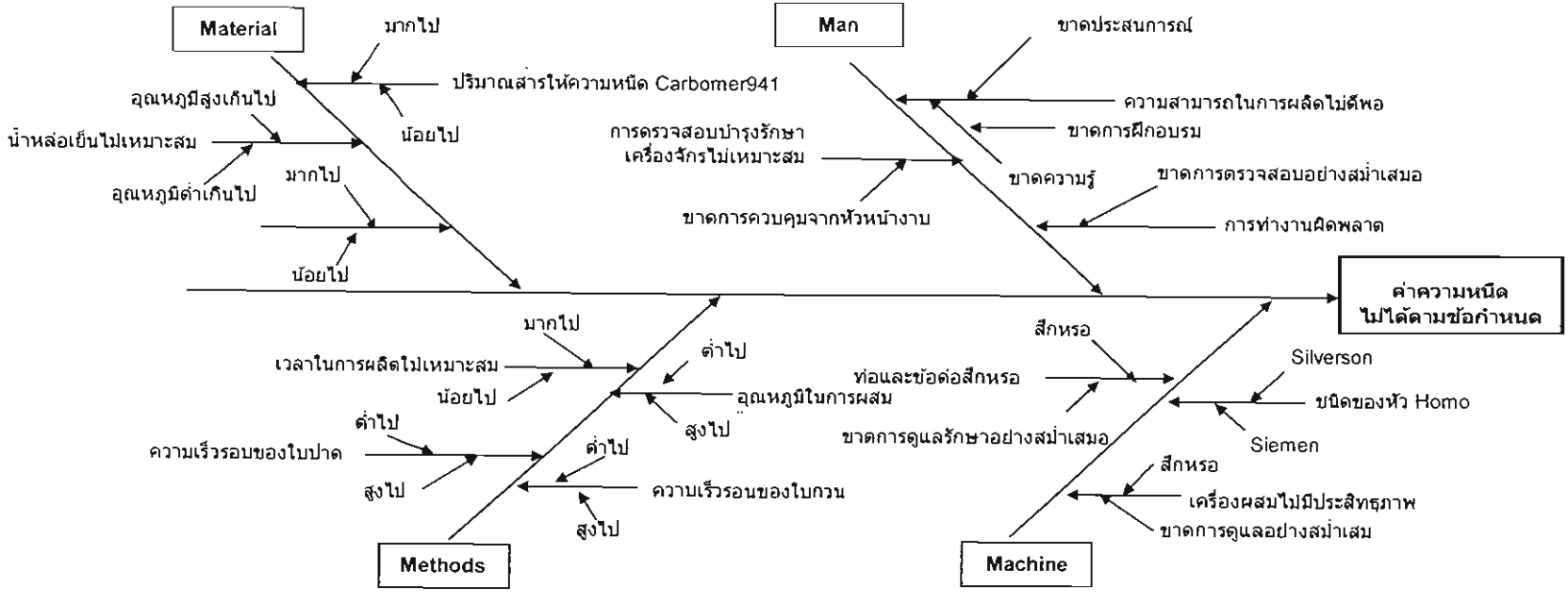


ภาพที่ 3-3 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ของบริษัทต้นแบบ

กำหนดปัจจัยระดับ และขอบเขต

1. วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A

2. การหาระดับที่เหมาะสม ของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเพื่อให้ได้ผลตอบคือค่าความหนืดตรงตามข้อกำหนด และมีคุณภาพตรงตามการผลิตของบริษัทต้นแบบโดยในการวิจัยนี้มีกรอบความคิด คือ พิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อผลตอบของกระบวนการที่จะศึกษา โดยการใช้วิธีการระดมสมองเพื่อเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการทดลองโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ตามภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram)

รายละเอียดของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของโลชั่น จากผังเหตุและผล (Cause-Effect Diagram) ดังภาพที่ 3-4 พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสรุปออกมาได้ดังนี้

ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)

1. ปริมาณของวัตถุดิบ Carbomer 941 (ซึ่งเป็นสารให้ความหนืด) ปริมาณที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งผลกับค่าความหนืดของโลชั่น

2. น้ำหล่อเย็นในการผสมโลชั่น การควบคุมน้ำหล่อเย็นไม่ดีจะทำให้คุณภาพของโลชั่นมีปัญหาเนื่องจากอัตราการเย็นตัวของโลชั่นไม่สม่ำเสมอและส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิต

ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)

1. เครื่องผสมไม่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลต่อการผสมวัตถุดิบต่าง ๆ เข้าด้วยกันไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการใช้งานมาเป็นเวลานานขาดการบำรุงรักษาหรือการตรวจสอบเป็นประจำจึงเกิดการสึกหรอ และส่งผลต่อกระบวนการผลิต

2. เครื่องผสมไม่เหมาะสม ชนิดและรุ่นไม่ตรงกับบริษัทต้นแบบ

3. Vacuum Pump ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นสภาวะสุญญากาศในระหว่างการผสมไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ขาดการบำรุงรักษาหรือการตรวจสอบเป็นประจำจึงเกิดการสึกหรอ และส่งผลต่อกระบวนการผลิต

4. ท่อและข้อต่อสึกหรอ เนื่องจากมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ขาดการบำรุงรักษาหรือการตรวจสอบเป็นประจำจึงเกิดการสึกหรอ และส่งผลต่อกระบวนการผลิต

5. ชนิดของหัว Homogenizer ที่ไม่ตรงกับบริษัทต้นแบบ

ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)

1. อุณหภูมิในการผสมขึ้นกับน้ำหล่อเย็นที่ใช้ ทั้งชนิดและปริมาณซึ่งจะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัจจัยนี้จะควบคุมได้ยาก

2. ความเร็วรอบในการผสมไม่เหมาะสม

ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)

1. ความสามารถในการผลิต เนื่องจากพนักงานแต่ละคนมีความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงาน การควบคุมเครื่องจักรในการผลิตและมีทักษะในการทำงานในระดับที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เกิดจากขาดประสบการณ์ในการทำงานและขาดการฝึกอบรมและถือเป็นสินค้าที่ไม่เคยผลิตของบริษัทรับจ้างผลิต

2. การตรวจสอบคุณภาพโลชั่นเนื่องจากขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพกาวจะมีหลายขั้นตอนและใช้พนักงานตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะต้องอาศัยทักษะและความชำนาญในการปฏิบัติงานในหลายขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการปรับอุณหภูมิของโลชั่นให้ได้ที่ 25^{0}C ขั้นตอนการวัดความหนืด ฯลฯ ดังนั้นพนักงานที่ขาดทักษะและความชำนาญอาจทำให้ค่าความหนืดของกาวบิดเบือนจากค่าจริงที่ทำการผลิตได้ และถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทรับจ้างผลิต

3. การตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องจักร เนื่องจากหัวหน้างานมักไม่ได้ติดตามควบคุมผลการทำงานอย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอ จึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดหรือละเลยในการบำรุงรักษาเครื่องจักร

4. ทำการศึกษาและกำหนดปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อความผันแปรของกระบวนการโดยใช้การระดมสมองจากฝ่ายผลิตฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องเพื่อค้นหาสาเหตุให้ครอบคลุมมากที่สุด เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างอาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้ ซึ่งสาเหตุที่ได้จะนำไปใช้ในการกำหนดปัจจัยในเบื้องต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติต่อไป รวมทั้งข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน ของบริษัทผู้รับเหมามาพิจารณาร่วมเพื่อกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเพื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ำค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A จำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

4.1 ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)

4.2 ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)

4.3 ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)

4.4 ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)

ตารางที่ 3-3 แสดงขั้นตอนการผลิตโลชั่น และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

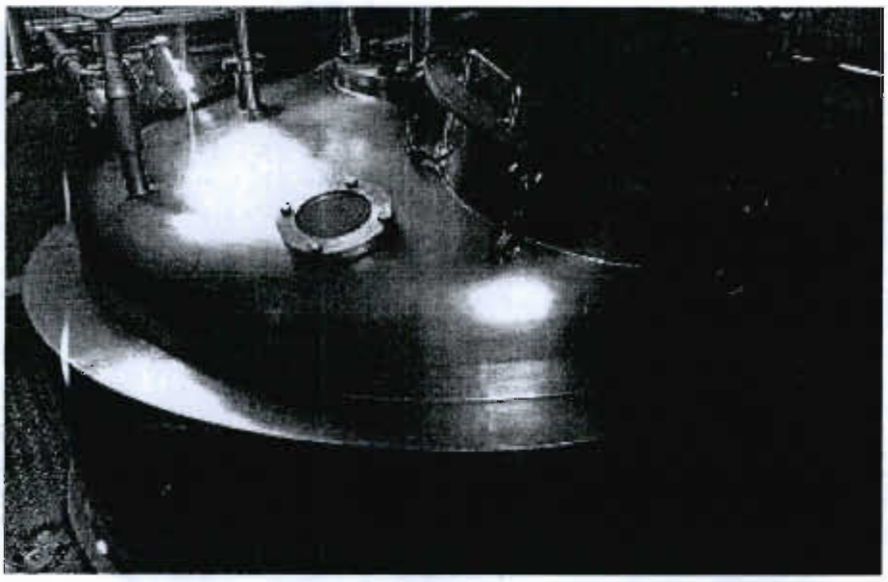
ขั้นตอน	ปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญ	การปรับปรุง	ข้อสรุป
1. Material	ปัจจัยทางด้านวัตถุดิบ (Material) 1.1 ปริมาณของวัตถุดิบ Carbomer 941 มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งผลค่าความหนืดของโลชั่น	ถูกกำหนดด้วยสูตร (Formula) ที่ห้ามปรับแต่ง	ควบคุมได้
	1.2 คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	ถูกควบคุมและตรวจสอบโดยบริษัทต้นแบบ	ควบคุมได้
	1.3 คุณภาพของน้ำ (DI water ที่ใช้ในการผลิต)	ผ่านการตรวจสอบโดยบริษัทต้นแบบ	ควบคุมได้
2. Man	ปัจจัยทางด้านคน (Man) 2.1 ความสามารถในการผลิต เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่สำหรับพนักงานบริษัทผู้รับเหมา	สร้างความเข้าใจในการทำงาน เพิ่มทักษะในการทำงาน	จัดการฝึกอบรมเพื่อให้ความรู้
	2.2 กำลังคนที่จะใช้ในการผลิตเนื่องจากพบว่าบริษัทผู้รับเหมามีพนักงานผสมจำนวนน้อยไม่เพียงพอกับปริมาณงานที่เพิ่มขึ้น	จัดหาพนักงานเพิ่ม และฝึกอบรมให้สามารถปฏิบัติงานได้	หาพนักงานเพิ่ม
	2.3 การตรวจสอบคุณภาพโลชั่นเนื่องจากขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพ (วัดความหนืด) จะมีหลายขั้นตอนและใช้พนักงานตรวจสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งจะต้องอาศัยทักษะ และความชำนาญในการปฏิบัติงานในหลายขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการปรับอุณหภูมิโลชั่นให้ได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการวัดความหนืด ดังนั้นพนักงานที่ขาดทักษะ และความชำนาญอาจทำให้ค่าความหนืดของโลชั่นบิดเบือนจากค่าจริงที่ทำการผลิตได้	เนื่องจากพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บริษัทผู้รับเหมาทำการผลิตอยู่เป็นผลิตเดียวกันกับที่ทางบริษัทต้นแบบมอบหมายให้ทำการผลิต (ครีม โลชั่น)ใช้การAudit จากบริษัทต้นแบบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพและทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของบริษัทรับเหมา	1.ผลการ Audit 2.วิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ 3-3 แสดงขั้นตอนการผลิตโลชั่น และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

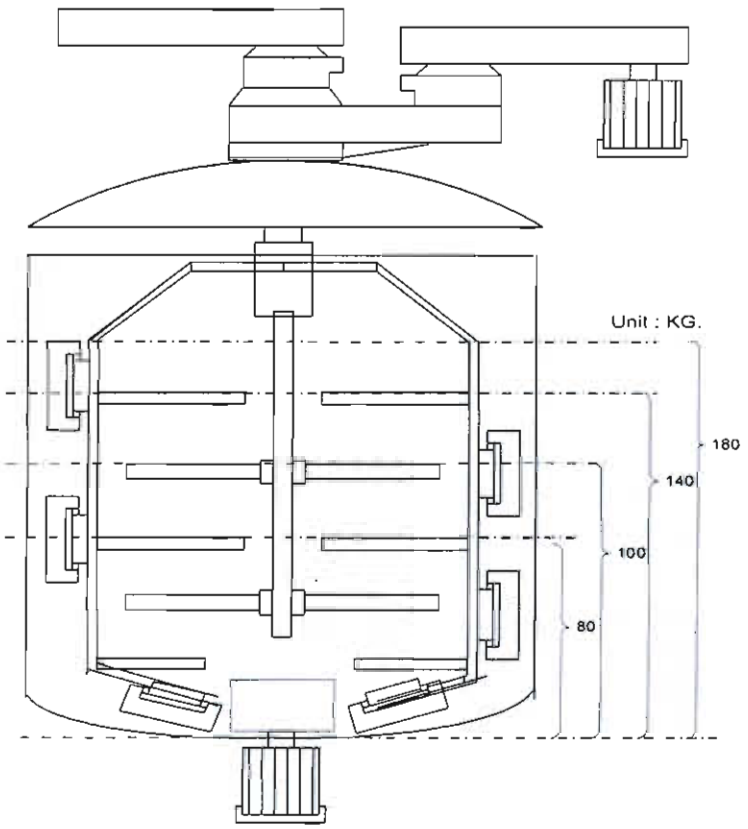
ขั้นตอน	ปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญ	การปรับปรุง	ข้อสรุป
	ปัจจัยทางด้านวิธีการ 3.1 การปั่นเตรียมวัตถุดิบ Carbomer ให้บวมตัวดี	กำหนดเวลาในการปั่นเตรียมวัตถุดิบ Carbomer 18 ชั่วโมง ก่อนนำใช้งาน	ควบคุมได้
3.Method	3.2 อุณหภูมิการเตรียมวัฏภาคน้ำ	กำหนดอุณหภูมิในการเตรียมวัฏภาคน้ำ 60-65 องศาเซลเซียส	ควบคุมได้
	3.3 อุณหภูมิการเตรียมวัฏภาคออย	กำหนดอุณหภูมิในการเตรียมวัฏภาคออย 60-65 องศาเซลเซียส	ควบคุมได้
	3.4. เวลาในการปั่นกวนวัฏภาคน้ำกับออย ให้เข้ากัน (Emulsification)	กำหนดเวลาในการปั่นทำ Emulsification 10 นาที	ควบคุมได้
	3.5 เวลาในการปั่นกวนวัตถุดิบ Sodium Hydroxide (Neutralization)	กำหนดเวลาในการปั่นทำ Neutralization 15 นาที	ควบคุมได้
	3.6 อัตราการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จาก 60-65 องศาเป็น 47 องศาเซลเซียส	กำหนดอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ 1 องศา ต่อ 1-1.5 นาที	ควบคุมได้
	3.7 เวลาในการปั่นกวนวัตถุดิบ PartE-Part H	กำหนดเวลาในการปั่น PartE-Part H 15 นาที	ควบคุมได้
	3.8 อุณหภูมิสุดท้ายก่อนผ่าน Homogenizer	กำหนดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สุดท้ายก่อนผ่าน Homogenizer 45 องศาเซลเซียส	ควบคุมได้

ตารางที่ 3-3 แสดงขั้นตอนการผลิตโลชั่น และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ขั้นตอน	ปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญ	การปรับปรุง	ข้อสรุป
	3.9 ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper) ที่ใช้ในการผสมตัวยาตลอดกระบวนการ	ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของใบปาด (Scrapper)	ทำการทดลอง
	3.10 ความเร็วรอบของใบกวน (Paddle) ที่ใช้ในการผสมตัวยาตลอดกระบวนการ	ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของ Paddle	ทำการทดลอง
4. Machine	ปัจจัยทางด้านเครื่องจักร (Machine) 4.1 รุ่น (Model) ของ Homogenizer ที่แตกต่างกับบริษัทต้นแบบตามภาพที่ 3-4 แสดงลักษณะเครื่องจักรของบริษัทต้นแบบเทียบกับบริษัทรับจ้างผลิต	ชนิดของหัว Homogenizer ที่บริษัทรับเหมาช่วงมีคือ 1.Homogenizer Silverson 2.Homogmizer Siemein	ทำการทดลองเพื่อหาชนิดของหัว Homogenizer
	4.2 Mixing Unit ไม่มีประสิทธิภาพเกิดการสึกหรอเนื่องจากใช้งานมาเป็นเวลานานไม่มีการตรวจสอบและซ่อมบำรุง	เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ	เพิ่มการตรวจสอบ
	4.3 Vacuum Pump ไม่มีประสิทธิภาพ เกิดจากการสึกหรอเนื่องจากใช้งานมาเป็นเวลานาน	เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ	เพิ่มการตรวจสอบ
	4.4 ระบบการทำร้อนด้วย Boiler ที่ควบคุมอุณหภูมิในการผลิตให้อุณหภูมิของน้ำร้อนไม่คงที่	ควบคุมและปรับระบบ Boiler	ปรับระบบ Boiler
	4.5 การตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องจักรไม่เหมาะสมเนื่องจากการตรวจสอบและควบคุมไม่เข้มงวด	จัดทำคู่มือในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรและควบคุมโดยส่วนที่เกี่ยวข้อง	จัดทำคู่มือ



ภาพที่ 3-5 แสดงรูปของเครื่องจักรที่ใช้ในการผสมที่บริษัทรับจ้างผลิต



ภาพที่ 3-6 แสดงรูปของเครื่องจักรที่ใช้ในบริษัทต้นแบบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดของโลชั่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่ต้องนำมาทำการวิจัยดังนี้

1. ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper)

2. ความเร็วรอบของใบกวน (Paddle)

3. ชนิดของหัว Homogenizer ที่ใช้ในการผสม

และกำหนดปัจจัยควบคุมดังนี้

1. ล๊อตของวัตถุดิบที่ใช้ในการผสม

2. พนักงานผสม

3. ปริมาณการผลิต 100 กิโลกรัม

กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่ต้องการศึกษา (Selection of The Response Variable)

ค่าตอบสนองที่ใช้คือ ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ได้จากกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity Data) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของการผลิต (Product Specification) การวัดค่าตอบสนองที่ใช้ในการทดลองคือ ค่าความหนืด (Viscosity) ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ที่เข็มวัดหมายเลข TE ความเร็วรอบ 12 วัดค่าความหนืดของโลชั่นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสปริมาตรโลชั่นชนิด A 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที จึงอ่านค่าความหนืดจากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

ทำการออกแบบแผนการทดลอง

เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการแล้ววิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมปัจจัยในการทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อหาปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A เพื่อให้ค่าความหนืดอยู่ในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ และมีคุณภาพเหมือนกับการผลิตของบริษัทต้นแบบ โดยเริ่มจากทำการศึกษาระบบการวัดของบริษัทรับจ้างผลิต

แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่จำกัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการ

วัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน พนักงานวัด ความผันแปรร่วมและความผันแปรอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยทั้งนี้การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้อยู่ภายใต้ค่าที่ได้จากการประเมินระบบการวัด เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงความผันแปรจากระบบการวัด (MSV) จะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) หรือความผันแปรจากกระบวนการผลิต (MPV) โดยทั่วไปแล้ว ต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าต่ำ ต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะและความผันแปรจากกระบวนการผลิตเสมอ

การวิเคราะห์ระบบการวัดแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการวัดหรือข้อมูลจากลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristic) และวิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการนับหรือข้อมูลจากคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute) ในกรณีนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิจัยเท่านั้น ซึ่งในการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดจะมีประเด็นที่สำคัญ 5 ประการที่จะต้องพิจารณาคือ

1. ระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่

2 ระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพหรือไม่

3. ระบบการวัดมีคุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่

4. คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์วัดหรือไม่

5. ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

การประเมินผลคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด

การประเมินผลคุณสมบัติด้านความแม่นยำนั้นจะประเมินผลค่าความผันแปรจากค่าจริงของงานชิ้นหนึ่งแบบซ้ำ ๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันการวิเคราะห์ค่าความหนืดจะตัดสินผ่านเครื่องมือที่ชื่อว่า Viscometer ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความหนืดซึ่งมีหน่วยเป็น เซนติพลอย์ ดังภาพที่ 3-7

ภาพที่ 3-7 แสดงเครื่อง Viscometer ที่ใช้ในการวัดค่าความหนืด

การวิเคราะห์ระบบการวัดมีความจำเป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะให้แน่ใจว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการมิใช่มาจากระบบการวัด และการทำวิจัยในครั้งนี้ตัวแปรที่สำคัญคือ ค่าความข้นของโลชั่น ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีลักษณะข้อมูลเป็นข้อมูลวัดและในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะทำการวิเคราะห์เพียงความแม่นยำของระบบการวัดนี้จะทำการวิเคราะห์เพียงความแม่นยำของระบบการวัดเท่านั้น ซึ่งได้พิจารณาใน 2 ประเด็นคือ

- คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานหรืออุปกรณ์หรือไม่

- ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

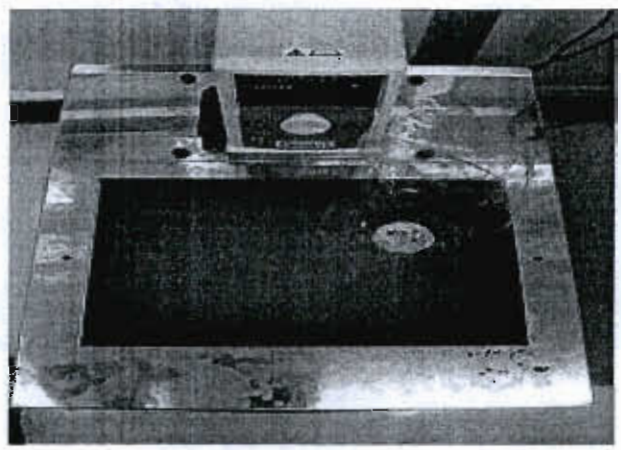
1.ขั้นตอนในการดำเนินการ

1.1ใช้อุปกรณ์ Viscometer ที่ผ่านการสอบเทียบตามมาตรฐานจากห้องสอบเทียบที่ได้มาตรฐาน ISO 17025

1.2 เลือกพนักงาน QC ที่ตรวจสอบค่าความหนืด 2 คน ที่ผ่านการอบรมเครื่องมือวัดชิ้นนี้และปฏิบัติงานทุกวัน

1.3 เลือกตัวอย่างทั้งหมด 10 ขวดที่พนักงานไม่ทราบค่าความหนืด มาวัดค่าความหนืดตามภาพที่ 3-8

ภาพที่ 3-8 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความหนืด



ภาพที่ 3-9 แสดงตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer

1. การออกแบบการทดลอง โดยใช้หลักการสำคัญอยู่ 2 ประการคือ การสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication) ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3-4 และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งจะตีความในหัวข้อถัดไป

2. การวิเคราะห์และตีความผลการทดลองของระบบการวัด

จากผลการทดลองในตารางที่ 3-4 เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-4 แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	Parts	Operators	Resulted
11	1	6	P' Korn	
3	2	2	P' Korn	
1	3	1	P' Korn	
19	4	10	P' Korn	
17	5	9	P' Korn	
15	6	8	P' Korn	
5	7	3	P' Korn	
13	8	7	P' Korn	
7	9	4	P' Korn	
9	10	5	P' Korn	
14	11	7	N' Koy	
20	12	10	N' Koy	
8	13	4	N' Koy	
16	14	8	N' Koy	
18	15	9	N' Koy	
2	16	1	N' Koy	
6	17	3	N' Koy	
10	18	5	N' Koy	

ตารางที่ 3-4 แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Parts	Operators	Resulted
12	19	6	N' Koy	
4	20	2	N' Koy	
31	21	6	P' Korn	
29	22	5	P' Korn	
37	23	9	P' Korn	
25	24	3	P' Korn	
35	25	8	P' Korn	
23	26	2	P' Korn	
27	27	4	P' Korn	
39	28	10	P' Korn	
33	29	7	P' Korn	
21	30	1	P' Korn	
34	31	7	N' Koy	
32	32	6	N' Koy	
40	33	10	N' Koy	
28	34	4	N' Koy	
24	35	2	N' Koy	
26	36	3	N' Koy	
36	37	8	N' Koy	
38	38	9	N' Koy	
22	39	1	N' Koy	
30	40	5	N' Koy	

การทดลองเบื้องต้น (Factor Screening Experiment)

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ผู้ทำการวิจัยใช้เทคนิคการทดลองและวิเคราะห์ผลแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับเท่านั้น (Factorial Design) โดยจะกำหนดปัจจัยที่มีค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะกับการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นในเบื้องต้น (Factor Screening Experiment) เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความหนืดของโลชั่นออกไป ซึ่งข้อดีของการทดลองแบบนี้คือใช้ตัวอย่างน้อยที่สุดทำให้สามารถประหยัดเวลาและทรัพยากรได้มาก เพราะเป็นการกำหนดปัจจัยไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้นแต่เนื่องจากการทำการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและทรัพยากรสูงจึงไม่สามารถทำการทดลองได้ที่ทุก ๆ ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งจะทำครั้งละ 100 กิโลกรัม และจะเกิดของเสียขึ้นทำให้ในการทดลองนี้จะทำซ้ำเพียง 2 ครั้ง ซึ่งข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ระบุให้มีค่าความหนืดอยู่ที่ 15,000-35,000 cps

ก) กำหนด Response ที่ต้องการศึกษา (Selection of The Response Variable) ค่าตอบสนองที่ใช้คือ ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ได้จากกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity Data) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของการผลิต (Product Specification) การวัดค่าตอบสนองที่ใช้ในการทดลองคือ ค่าความหนืด (Viscosity) ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ที่เข็มวัดหมายเลข TE ความเร็วรอบ 12 วัดค่าความหนืดของโลชั่นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสปริมาตรโลชั่นชนิด A 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที จึงอ่านค่าความหนืดจากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

ข) การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ต้องการศึกษา (Choice of Factors and Levels) ปัจจัยและระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบการทดลองพิจารณาจากข้อมูลที่ผ่านการประชุมสรุปผลกับฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ปัจจัยที่ส่งผลและสำคัญดังนี้

1. การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

1) ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper) แสดงดังภาพที่ 3-10 ความเร็วรอบของใบปาดจะส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาเคมีที่สมบูรณ์ของโลชั่น และการเป็นเนื้อเดียวกันของโลชั่น (Homogenous Phase)

2) ความเร็วรอบของใบกวน (Paddle) แสดงดังภาพที่ 3-11 ความเร็วรอบของใบกวนจะส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาเคมีที่สมบูรณ์ของโลชั่น และการเป็นเนื้อเดียวกันของโลชั่น (Homogenous Phase)

3) ชนิดของหัว Homogenizer แสดงดังภาพที่ 3-12 และภาพที่ 3-13 ชนิดของหัว Homogenizer ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยา Homogenization และขนาดของอนุภาคเป็นการเข้ากันระหว่างเฟสน้ำและเฟส Oil และการเป็นเนื้อเดียวกันของโลชั่น (Homogenous Phase)

การกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

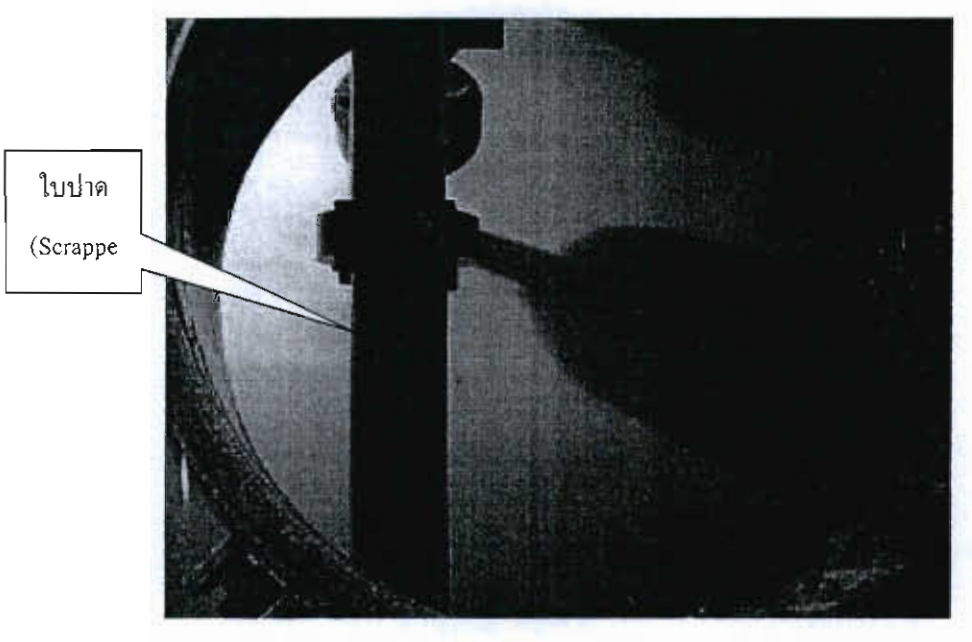
สมมติฐานในการออกแบบการทดลองและข้อมูลจากการผลิต สภาวะการดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง

ตารางที่ 3-5 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	**High (+)**	
1. ใบปาด (Scrapper)	15	21	rpm
2. ใบกวน (Paddle)	2	3	step
3. หัว Homogenizer	Silverson	Siemens	-

การกำหนดช่วงของปัจจัยต่าง

ปัจจัย A ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper) ถ้าต่ำกว่า 15 จะทำให้การเคลื่อนที่ของตัวยาช้าเกินไปและถ้าความเร็วรอบมากกว่า 21 rpm การเคลื่อนที่ของตัวยาจะเร็วไปและอาจส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่น

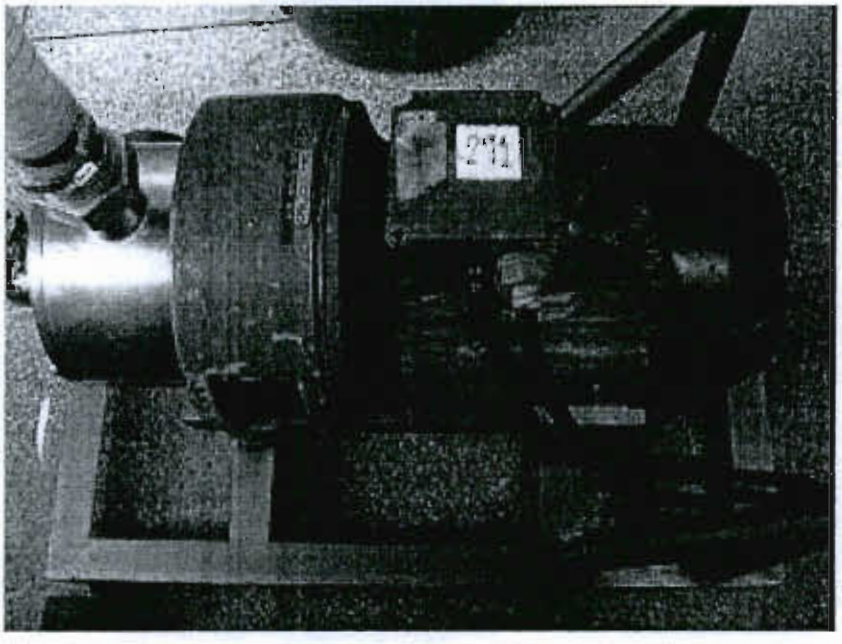


ภาพที่ 3-10 แสดงรูปของใบปาดถังผสม (Scrapper)

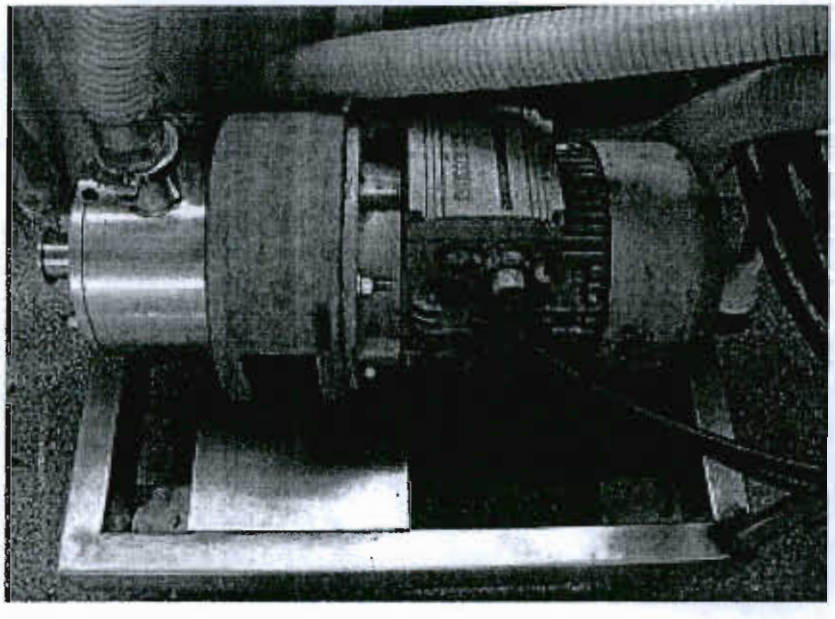
ปัจจัย B ความเร็วรอบของใบกวน (Paddle) ถ้าต่ำกว่า 2 จะทำให้การเคลื่อนที่ของตัวยาช้าเกินไปและถ้าความเร็วรอบของใบกวนมากกว่า 3 จะทำให้ตัวยาเคลื่อนที่เร็วเกินไป และอาจส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่น

ภาพที่ 3-11 แสดงรูปของใบกวนในถังผสม (Paddle)

ปัจจัย C ชนิดของ Homogenizer ที่ใช้มี 2 ตัวคือ Homogenizer Silverson อัตราการไหลผ่านของตัวยาเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อ 1 นาที ตัวที่ 2 คือ Homogenizer Siemens อัตราการไหลผ่านของตัวยาเท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อ 1 นาที



ภาพที่ 3-12 แสดงรูปของ Homogenizer Silverson



ภาพที่ 3-13 แสดงรูปของ Homogenizer Siemens

กำหนดรูปแบบการทดลอง (Choice of Experiment Design)

เนื่องจากปัจจัยหลักที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้นมี 3 ปัจจัยจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่น และเป็นปัจจัยที่ให้ค่าความหนืดของโลชั่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการผลิต แล้วนำไปใช้ในการศึกษาโดยละเอียด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโลชั่นชนิด A ดังนั้นจึงเลือกออกแบบการทดลองแบบ 2^k factorial Design เมื่อมีปัจจัยทั้งสิ้น 3 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือค่าระดับปัจจัยต่ำ (-) และค่าระดับปัจจัยสูง (+) มีจำนวนการทำซ้ำ n=2 นำมาทำการกำหนดเงื่อนไขการทดลองซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 3 Design เท่ากับ 16 แบบการทดลอง (Treatment Combination) การจัดลำดับการทดลองครั้งนี้ เป็นการจัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม (Random) เพื่อเป็นการลดอคติและความลำเอียงของผู้ที่ทำการทดลอง เมื่อมีปัจจัยทั้งสิ้น 3 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ กำหนดให้มีการใช้ตัวอย่างชิ้นงานทดลอง (Replication) ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ จำนวน 2 ชุด มีจำนวนครั้งของการทดลอง (Run) เท่ากับ 16 การทดลอง เนื่องจากการทำการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและทรัพยากรสูงจึงไม่สามารถทำการทดลองได้ที่ทุก ๆ ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งจะทำครั้งละ 100 กิโลกรัม และจะเกิดของเสียขึ้นทำให้ในการทดลองนี้จะทำซ้ำเพียง 2 ครั้ง แล้วทำการเก็บข้อมูล ตารางที่ 3-6 แสดงให้เห็นตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design เมื่อได้ตารางการออกแบบการทดลองแล้ว จึงทำการทดลองและบันทึกค่าที่ได้ลงในแบบฟอร์มดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 แบบแผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^3 Factorial Design

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Scrapple	Paddle	Homo	Result
12	1	1	1	21	3	Silverson	
3	2	1	1	15	3	Silverson	
9	3	1	1	15	2	Silverson	
2	4	1	1	21	2	Silverson	
11	5	1	1	15	3	Silverson	
5	6	1	1	15	2	Siemens	
7	7	1	1	15	3	Siemens	
8	8	1	1	21	3	Siemens	
1	9	1	1	15	2	Silverson	

ตารางที่ 3-6 แบบแผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^3 Factorial Design (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Scrapple	Paddle	Homo	Result
14	10	1	1	21	2	Siemens	
4	11	1	1	21	3	Silverson	
15	12	1	1	15	3	Siemens	
6	13	1	1	21	2	Siemens	
13	14	1	1	15	2	Siemens	
10	15	1	1	21	2	Silverson	
16	16	1	1	21	3	Siemens	

ทำการทดลองและเก็บข้อมูล (Performing The Experiment and Collect Data)

หลังจากเลือกแบบการทดลองในส่วนแรกได้แล้วจึงได้กำหนดวิธีการทำการทดลอง และดำเนินการทดลอง

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและพนักงานที่ทำงาน

1.1 อ่างน้ำหล่อเย็น (Water Cooling Bath) ยี่ห้อ Grant สำหรับปรับอุณหภูมิโลชั่นให้อยู่ที่ 25 °C+ 1

1.2 เทอร์โมมิเตอร์ (Themometer) สำหรับวัดอุณหภูมิของโลชั่น

1.3 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) รุ่น LVDV-I Prime ยี่ห้อ Brookfield ผ่านการสอบเทียบแล้ว

1.4 เข็มวัดความหนืดเบอร์ TE (Spindle TE)

1.5 เครื่องผสมโลชั่น (Mixing Unit) ยี่ห้อ ขนาด 150 ลิตร มีระบบ Steam และระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อปรับเพิ่มความร้อน และระบายความร้อนมีใบปาด และใบกวนในถัง

1.6 ถังเตรียม (Premix Tank) 2 ใบสำหรับหลอม Part น้ำมัน และ Part น้ำ

1.7 ถังพลาสติกสำหรับใส่วัตถุดิบ

1.8 Homogenizer ยี่ห้อ Siemend

1.9 Homogenizer ยี่ห้อ Silverson

1.10 ถังสำหรับบรรจุโลชั่น

1.11 ขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร

1.12 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1.13 พนักงานวัดความหนืดโลชั่นจำนวน 2 คน โดยพนักงานทั้ง 2 ท่านผ่านการประเมินความสามารถของระบบการวัดแล้ว (Measurement System Analysis)

1.14 พนักงานผลิตโลชั่นจำนวน 3 คน

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) ทางบริษัทต้นแบบจะเป็นผู้จัดเตรียมและชั่งวัตถุดิบโดยทำการเบิกชนิดของวัตถุดิบตามสูตรการผลิตที่ระบุไว้ในเอกสารการผลิตของโลชั่นชนิด A และส่งให้กับบริษัทผู้รับจ้างผลิต

2.3 กระบวนการผสมโลชั่นชนิด A

2.3.1 ผสมวัตถุดิบคือ น้ำ และ Carbomer ปริมาณตามใบสั่งงานการผลิต ในถังผสม Premix ทำร้อนให้ได้อุณหภูมิ 60-65 °C ปั่น 15 นาที ให้กระจายตัวดีปิดฝาให้สนิททิ้งไว้ข้ามคืน

2.3.2 นำวัตถุดิบที่เตรียมทิ้งไว้ข้ามคืน ถ่ายลงถังผสม เติม RM Part น้ำที่เหลือ เปิดใบปาดและใบกวนทำร้อนให้ได้อุณหภูมิ 60-65 °C

2.3.3 หลอม Part Oil ใน Premix Tank ทำร้อน 60-65 °C ปั่นกวนจน Part Oil ละลายหมด

2.3.4 ขั้นตอน Emulsion ถ่าย Part Oil ลงถังผสมเปิดใบปั่น และใบกวนตลอดเวลา

2.3.5 ขั้นตอน Neutralization เติมวัตถุดิบ Sodium Hydroxide ลงถังผสมที่อุณหภูมิ 60-65 °C เปิดใบปาดและใบกวนตลอดเวลา

2.3.6 ทำเย็นตัวยาในถังผสมจนถึงอุณหภูมิ 47 °C เปิดใบปาดและใบกวนตลอดเวลา

2.3.7 เติมวัตถุดิบ Part Additive ที่เหลือลงในถังผสมตามลำดับ

2.3.8 ขั้นตอน Homogenizer ถ่ายตัวยา ผ่าน Homo Inline ลงถังเก็บ

2.4 การตรวจสอบค่าความหนืด

ทำการสุ่มตัวอย่างโลชั่นใส่ขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อตรวจสอบค่าความหนืดว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ โดยก่อนการตรวจสอบค่าความหนืดให้ดำเนินการหล่อเย็นโลชั่นโดยควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างโลชั่นที่ 25 °C หลังจากนั้นดำเนินการวัดความหนืดของตัวอย่างโลชั่น

ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ที่เข็มวัดหมายเลข TE วัดที่ความเร็วรอบ 12 RPM ทำการวัดความหนืดในโลชั่นตัวอย่างที่ควบคุมอุณหภูมิโลชั่นที่ 25 °C ปริมาตรโลชั่น 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที จึงอ่านค่าความหนืดจากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

2.5 การตรวจสอบคุณภาพในหัวข้ออื่น ๆ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงเนื่องจากไม่ใช้ตัวแปรตอบสนองที่สนใจ

บทที่ 4
ผลดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาในขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้ว จนถึงลำดับขั้นการทดลองนำค่าของปัจจัยที่กำหนดได้เข้าสู่การทดลองจริง ตามขั้นตอนเพื่อที่จะหาค่าผลตอบที่ได้รับจากกระบวนการผสมโลชั่น ชนิด A ซึ่งอยู่ภายใต้ภาวะการควบคุมปัจจัยซึ่งในขั้นตอนนี้ สามารถที่จะวิเคราะห์ผลการดำเนินการได้เป็นลำดับ ดังนี้คือ

การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวัดค่าความหนืดของโลชั่นใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Viscosmeter ซึ่งมีหน่วยเป็น cps ดังภาพที่ 4-1

ภาพที่ 4-1 แสดงเครื่องมือวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-I-prime

การวิเคราะห์ระบบการวัดมีความจำเป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะให้แน่ใจว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการมิใช่มาจากกระบบการวัดและการทำวิจัยในครั้งนี้ตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีลักษณะข้อมูลเป็นข้อมูลวัดและในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะทำการวิเคราะห์เพียงความแม่นยำของระบบการวัดเท่านั้น ซึ่งได้พิจารณาใน 2 ประเด็นคือ

1. คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานหรืออุปกรณ์วัดหรือไม่

2. ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

ขั้นตอนในการดำเนินการ

ใช้เครื่องมือ Viscometer ที่ผ่านการสอบเทียบตามมาตรฐานจากห้องสอบเทียบที่ได้มาตรฐา ISO 17025

เลือกพนักงาน QC ที่ทำการตรวจสอบค่าความหนืดเป็นประจำ จำนวน 2 คน ที่ผ่านการอบรมเครื่องมือวัดชิ้นนี้

เลือกตัวอย่างโลชั่นจำนวน 10 ขวดส่งให้พนักงานทำการวัดโดยที่พนักงานไม่ทราบค่าความหนืดของโลชั่นขวดต่าง ๆ

การออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการสำคัญอยู่ 2 ประการคือ การสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication) ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 4-1 และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งจะตีความในหัวข้อถัดไป

การวิเคราะห์และตีความผลการทดลองของระบบการวัด

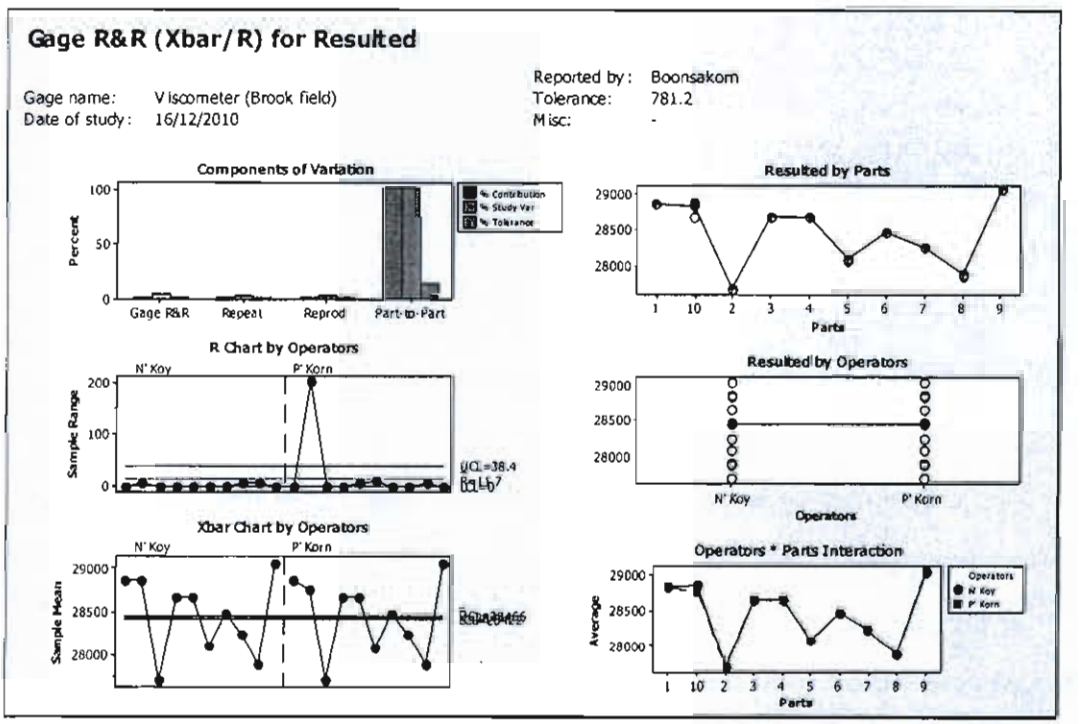
จากผลการทดลองในตารางที่ 4-1 เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	Parts	Operators	Resulted
11	1	6	P' Korn	28470
3	2	2	P' Korn	27690
1	3	1	P' Korn	28860
19	4	10	P' Korn	28665
17	5	9	P' Korn	29055
15	6	8	P' Korn	27885
5	7	3	P' Korn	28665
13	8	7	P' Korn	28250
7	9	4	P' Korn	28665
9	10	5	P' Korn	28080
14	11	7	N' Koy	28245
20	12	10	N' Koy	28865
8	13	4	N' Koy	28670
16	14	8	N' Koy	27885
18	15	9	N' Koy	29055
2	16	1	N' Koy	28860
6	17	3	N' Koy	28670
10	18	5	N' Koy	28090
12	19	6	N' Koy	28470
4	20	2	N' Koy	27690
31	21	6	P' Korn	28470
29	22	5	P' Korn	28090
37	23	9	P' Korn	29055
25	24	3	P' Korn	28665
35	25	8	P' Korn	27880
23	26	2	P' Korn	27690
27	27	4	P' Korn	28670

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองของการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Parts	Operators	Resulted
39	28	10	P' Korn	28865
33	29	7	P' Korn	28250
21	30	1	P' Korn	28860
34	31	7	N' Koy	28250
32	32	6	N' Koy	28470



ภาพที่ 4-2 แสดงภาพเพื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) ในการทดลองเบื้องต้น

Gage R&R for Resulted

Gage name: Viscometer (Brook field)
Date of study: 16/12/2010
Reported by: Boonsakorn
Tolerance: 781.2
Misc: -

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	161	0.09
Repeatability	109	0.06
Reproducibility	53	0.03
Part-To-Part	184252	99.91
Total Variation	184413	100.00

Process tolerance = 20000

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	12.697	76.18	2.96	0.38
Repeatability	10.417	62.50	2.43	0.31
Reproducibility	7.260	43.56	1.69	0.22
Part-To-Part	429.245	2575.47	99.96	12.88
Total Variation	429.433	2576.60	100.00	12.88

Number of Distinct Categories = 47

ภาพที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองเบื้องต้นโดยใช้โปรมแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

การตีความเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดก่อนโดยเริ่มวิเคราะห์ดังภาพที่ 4-2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด เป็นการประเมินผลรีพพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด เพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และตัวอย่างเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ขวด และให้พนักงานที่ปฏิบัติงานจริงทั้งหมด 2 คน โดยลำดับการทดลองเป็นไปแบบสุ่มโดยใช้โปรแกรม Minitab ทำการช่วยออกแบบการทดลอง เนื่องจากการวิเคราะห์ระบบการวัดจะต้องอาศัยสารสนเทศด้านความผันแปรของข้อมูล ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องมีคุณสมบัติเฉพาะด้านความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ รวมทั้งมีคุณสมบัติด้านความสุ่มด้วย และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4-1 มาทำการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม

Minitab ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4-2 ซึ่งแผนภูมิควบคุม R พบว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่มอยู่ภายใต้การควบคุมและอยู่ในสภาวะเสถียรภาพ จึงอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการวัด ความหนืดของโลชั่นมีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างได้ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มโดยมีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติและคุณสมบัติในการคาดการณ์ได้ ในการตีความหมาย จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดก่อนโดย

1. พิจารณาคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่างจากแผนภูมิควบคุม ซึ่งพบว่าจากรูประบบการวัดมีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างได้ดี และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอ จากภาพที่ 4-2 พบว่าพิสัยอยู่ในพิกัดควบคุม แสดงว่าค่าวัดที่ได้จากระบบการวัดมีความสม่ำเสมอดี

2. จากแผนภูมิควบคุม X-bar พบว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต เพราะฉะนั้นข้อมูลที่วัดสามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้

3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงความผันแปรจากสิ่งตัวอย่างทดลองโดยค่าประมาณที่ประมาณได้จากค่าพิสัยในที่นี้พบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทดลองทั้งหมดมีค่า 429.661 cps. จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 429.245 cps. และเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด 12.697 cps.

4. ค่าความผันแปรของข้อมูล (Study Var) แสดงถึงความผันแปรจากประชากรหรือกระบวนการวัดที่ได้จากการอนุมานสิ่งตัวอย่างด้วยระดับความเชื่อมั่น 99% ในที่นี้พบว่าความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดมีค่า 2576.60 cps จะเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 2575.47 cps. และความผันแปรจากระบบการวัด 76.18 cps

5. ค่า % Study Var จะแสดงถึงความผันแปรเมื่อมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ P/TV ในที่นี้พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลวัดเท่ากับ 100 cps แล้วจะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 99.96 cps และ เป็นความผันแปรจากระบบการวัด 2.96 cps โดยแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุรีพีททะบิลิตี้ 2.43 cps และความผันแปรจากสาเหตุรีโปรดิวซะบิลิตี้ 1.69 cps

6. ค่าความแปรปรวน (Variance) คือ ความผันแปรต่อหน่วยในประชากร ในที่นี้ความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 184,413 cps2 ซึ่งมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 184,252 cps2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัด 161 cps2

7. ค่าความผันแปรจากสาเหตุต่าง ๆ ที่ส่งผล (Contribute) ต่อความผันแปรโดยรวม เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละ หรือ % ซึ่งในที่นี้พบว่าถ้าความแปรปรวนทั้งหมดคือ 100 cps2 จะเป็นความแปรปรวนที่มีผลมาจากกระบวนการผลิต 99.34% และจากระบบการวัด 0.09% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีททะบิลิตี้ 0.06% และอีก 0.03% มาจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

1) รีพีททะบิลิตี้เท่ากับ 62.50 cps ซึ่งหมายความถึงในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดนี้ได้ค่าความผันแปรเท่ากับ +/- 31.25 cps รอบค่าความหนืดจริงของตัวอย่าง

2) รีโปรดิวซิบิลิตี้เท่ากับ 43.56 cps ซึ่งหมายถึงในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดนี้ได้ค่าความผันแปรเท่ากับ +/- 21.78 cps รอบค่าความหนืดจริงของตัวอย่าง

3) GR&R เท่ากับ 76.18 cps ซึ่งหมายถึงในการวัดซ้ำด้วยระบบบการวัดนี้ได้ค่าความผันแปรเท่ากับ +/- 38.05 cps รอบค่าความหนืดจริงของตัวอย่าง

4) ความผันแปรจากสาเหตุของสิ่งตัวอย่างงานเท่ากับ 2576.47 cps และมีความผันแปรรวมของระบบการวัดเท่ากับ 2576.60 cps.

ดังนั้น P/TV มีค่า 2.96% ซึ่งน้อยกว่า 10% ซึ่งถือว่าดีเยี่ยมตามเกณฑ์มาตรฐานที่บ่งชี้ไว้ ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดของบริษัทรับจ้างผลิตสรุปได้ว่าระบบการวัตสามารถยอมรับได้และไม่มีความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด ทำให้ข้อมูลค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A ที่ได้จากบริษัทรับจ้างผลิตนั้นเชื่อถือได้

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยจากแบบจำลอง

การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการนี้เริ่มจากการนำระดับของปัจจัยที่กำหนดขึ้นไปทำการทดลองด้วยกระบวนการผลิตจริง โดยกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ซึ่งในการตั้งค่าของระดับปัจจัยที่ได้รับนั้นจะแปรผันตามผลขั้นต้นที่ได้กำหนดและบันทึกผลการทดลองหรือผลตอบที่ได้รับแต่ละครั้งไว้ซึ่งในขั้นนี้จะกำหนด ความหมายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานได้คือ

Stdorder	หมายถึง ลำดับมาตรฐานที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้
Runorder	หมายถึง ลำดับของการทดลอง
Blocks	หมายถึง การออกแบบที่มีการ Blocks เพื่อลดปัจจัยที่รบกวน
Scrapple	หมายถึง ปัจจัยรอบใบปาดที่ใช้ในการผสมโลชั่นชนิด A
Paddle	หมายถึง ปัจจัยรอบใบกวนที่ใช้ในการผสมโลชั่นชนิด A

Homogenizer หมายถึง ปัจจัยชนิดของเครื่อง Homogenizer ที่ใช้ในการผสมโลชั่นชนิด A

Response หมายถึง ผลตอบที่ได้รับหรือ ค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A

ผลการทดลองในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นนี้ได้จากการทำการทดลองตามสภาวะและเก็บข้อมูลตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 โดยมีจำนวนการทดลอง (Runs) ทั้งสิ้น 16 สภาวะที่แตกต่างกันและมีวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกับค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A โดยจะใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ค่าความหนืด สำหรับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในเบื้องต้นสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตารางบันทึกผลการทดลองแต่ละ Treatment

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Scrapple	Paddle	Homo	Result
12	1	1	1	21	3	Silverson	26815
3	2	1	1	15	3	Silverson	25600
9	3	1	1	15	2	Silverson	25465
2	4	1	1	21	2	Silverson	26655
11	5	1	1	15	3	Silverson	25050
5	6	1	1	15	2	Siemens	14880
7	7	1	1	15	3	Siemens	14880
8	8	1	1	21	3	Siemens	15355
1	9	1	1	15	2	Silverson	26560
14	10	1	1	21	2	Siemens	15600
4	11	1	1	21	3	Silverson	26615
15	12	1	1	15	3	Siemens	14690
6	13	1	1	21	2	Siemens	15605
13	14	1	1	15	2	Siemens	15301
10	15	1	1	21	2	Silverson	26440
16	16	1	1	21	3	Siemens	16617

ผลการวิเคราะห์การถดถอยของผิวตอบ (Response surface regression) เป็นดังนี้

Factorial Fit: Result versus Scrapple, Paddle, Homo

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		20758	115.1	180.29	0.000
Scrapple	909	455	115.1	3.95	0.004
Paddle	-111	-55	115.1	-0.48	0.644
Homo	-10784	-5392	115.1	-46.83	0.000
Scrapple*Paddle	386	193	115.1	1.68	0.132
Scrapple*Homo	-53	-26	115.1	-0.23	0.824
Paddle*Homo	150	75	115.1	0.65	0.534
Scrapple*Paddle*Homo	-42	-21	115.1	-0.18	0.861

S = 460.554 PRESS = 6787520
R-Sq = 99.64% R-Sq(pred) = 98.56% R-Sq(adj) = 99.32%

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	468536226	468536226	156178742	736.31	0.000
2-Way Interactions	3	696621	696621	232207	1.09	0.406
3-Way Interactions	1	6889	6889	6889	0.03	0.861
Residual Error	8	1696880	1696880	212110		
Pure Error	8	1696880	1696880	212110		
Total	15	470936616				

Estimated Coefficients for Result using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	24095.7
Scrapple	-170.083
Paddle	-2426.50
Homo	-6229.25
Scrapple*Paddle	128.667
Scrapple*Homo	25.750
Paddle*Homo	398.50
Scrapple*Paddle*Homo	-13.8333

ภาพที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองเบื้องต้นโดยใช้โปรมแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองจะแสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่น ซึ่งการวิเคราะห์ผลการจากข้อมูลในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้รับ สามารถแปรผลที่เกิดได้ดังนี้

1. ปัจจัยรอบใบปาด (Scrapple) ที่ใช้มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

2. ปัจจัยชนิดของ Homogenizer ที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

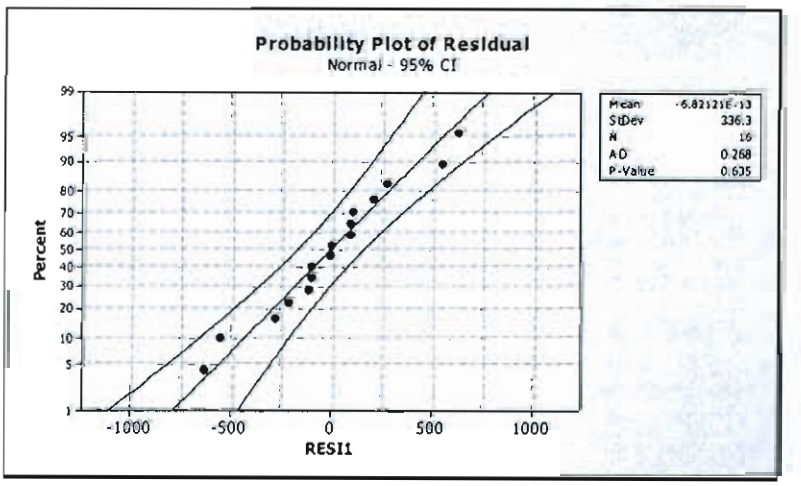
ปัจจัยทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวถึง ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A คือชนิดของหัว Homogenizer

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

ก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Anova จะต้องเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองหลังจากนั้นจึงจะทดสอบด้วย R-Square วิเคราะห์ด้วย Anova ได้โดยต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

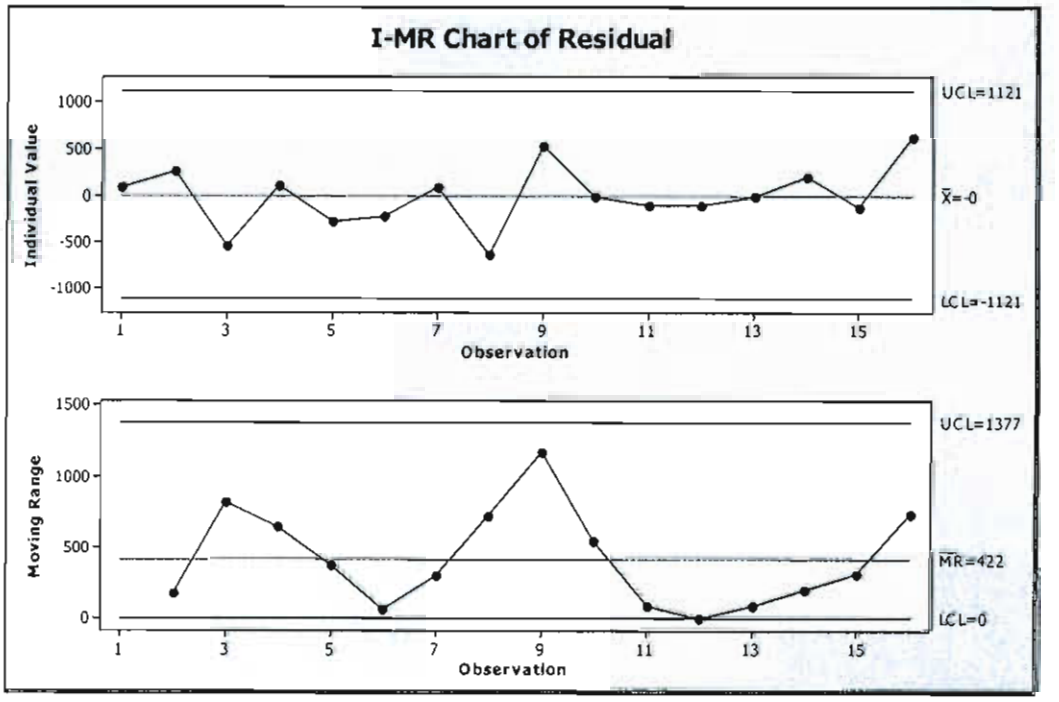
การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลนั้นเป็นการทดสอบว่าค่าเศษเหลือมีลักษณะการกระจายรอบค่าหนึ่งอย่างสมมาตรหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟทดสอบความผิดปกติ (Normal Plot of Residuals) หรือกราฟฮิสโตแกรม (ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ทดสอบ) จากภาพที่ 4-5 และการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลพบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.635 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นข้อมูลห่างจากเส้นตรงน้อย แสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีความปกติ



ภาพที่ 4-5 แสดงผลการทดสอบความปกติของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลนั้น พิจารณาได้โดยวิเคราะห์ผ่านแผนภูมควบคุม I (หรือ X-MR) โดยแกน X คือ ลำดับการทดลองและแกน Y คือค่าเศษเหลือ (Residual) ซึ่งกราฟนี้จะแสดงพฤติกรรมของค่าเศษเหลือตลอดช่วงการทดลอง โดยดูว่าเศษเหลือแต่ละค่าเป็นแนวโน้มหรือออกนอกพิกัด (Outlier) หรือไม่ ซึ่งจากการพิจารณาภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7 ที่แผนภูมิควบคุม I ไม่พบจุดใดอยู่นอกแผนภูมิควบคุมแสดงว่ามีความเป็นอิสระของข้อมูล นั้นก็คือข้อมูลที่เก็บมานั้นเก็บมาอย่างสุ่มนอกพิกัด (Outlier) หรือไม่ ซึ่งการพิจารณาภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7 ที่แผนภูมิควบคุมไม่พบจุดใดอยู่นอกแผนภูมิควบคุมแสดงว่ามีความเป็นอิสระของข้อมูล นั้นก็คือข้อมูลที่เก็บมานั้นเก็บมาอย่างสุ่ม



ภาพที่ 4-6 แสดงผลการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิควบคุม I

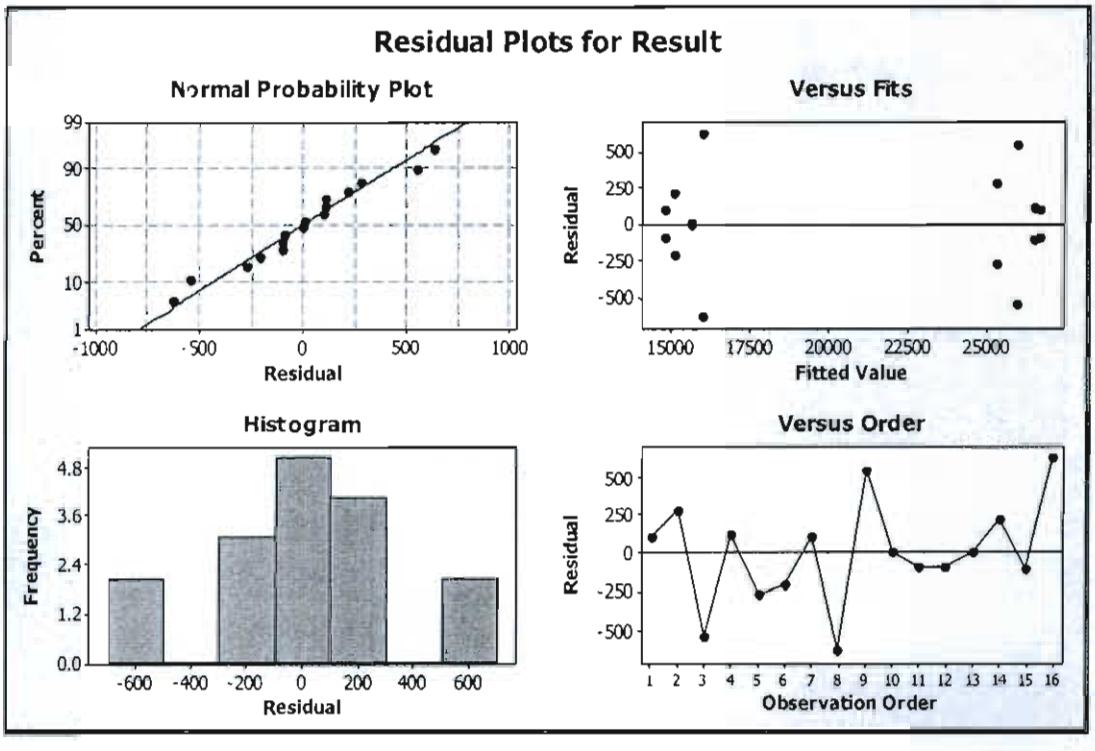
3. การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายตัวของค่าความหนืด (Residual) ดามภาพที่ 4-7 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) เทียบกับ Fitted Value โดยพิจารณาว่าค่าความแปรปรวนของ

ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) มีความเสถียรอยู่ในระดับที่น่าพึ่งพอใจหรือไม่ และไม่พบรูปการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน (Residual) เข้าข่ายลักษณะแบบกรวยปลายเปิด หรือรูปลำโพง (Outward Opening Funnel or Megaphone)

4. การทดสอบสัมประสิทธ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

หลังจากได้ตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมตามแผนการทดลองว่ามีความเหมาะสมตามแผนการทดลองแล้วจะทำการวิเคราะห์สัมประสิทธ์การตัดสินใจ (R2) ซึ่งจากตาราง Estimated Regression Coefficients for Response ที่ผ่านมานั้นค่า R^2 ของการทดลองมีค่า = 99.64% และหลังจาก R^2 ได้รับการปรับค่าแล้วมีค่า = 99.32% แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูลและป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสามารถนำไปสร้างสมการทำนายผลเพื่อหาค่าผลตอบได้ต่อไป

5. หลังจากตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองแล้วนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเขียนสมการสำหรับทำนายค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A เมื่อควบคุมระดับปัจจัยที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งตัวแบบธรรมชาติได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 4-7 แสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

จากการประเมินคุณสมบัติของข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติครบทั้ง เรื่องความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อถัดไป

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งข้อมูลได้ถูกผ่านการวิเคราะห์ผลโดยผ่านโปรแกรม Minitab ซึ่งผลดังแสดงในภาพที่ 4-8

Factorial Fit: Result versus Scrapple, Paddle, Homo

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		20758	115.1	180.29	0.000
Scrapple	909	455	115.1	3.95	0.004
Paddle	-111	-55	115.1	-0.48	0.644
Homo	-10784	-5392	115.1	-46.83	0.000
Scrapple*Paddle	386	193	115.1	1.68	0.132
Scrapple*Homo	-53	-26	115.1	-0.23	0.824
Paddle*Homo	150	75	115.1	0.65	0.534
Scrapple*Paddle*Homo	-42	-21	115.1	-0.18	0.861

S = 460.554 PRESS = 6787520
R-Sq = 99.64% R-Sq(pred) = 98.56% R-Sq(adj) = 99.32%

Analysis of Variance for Result (coded units)

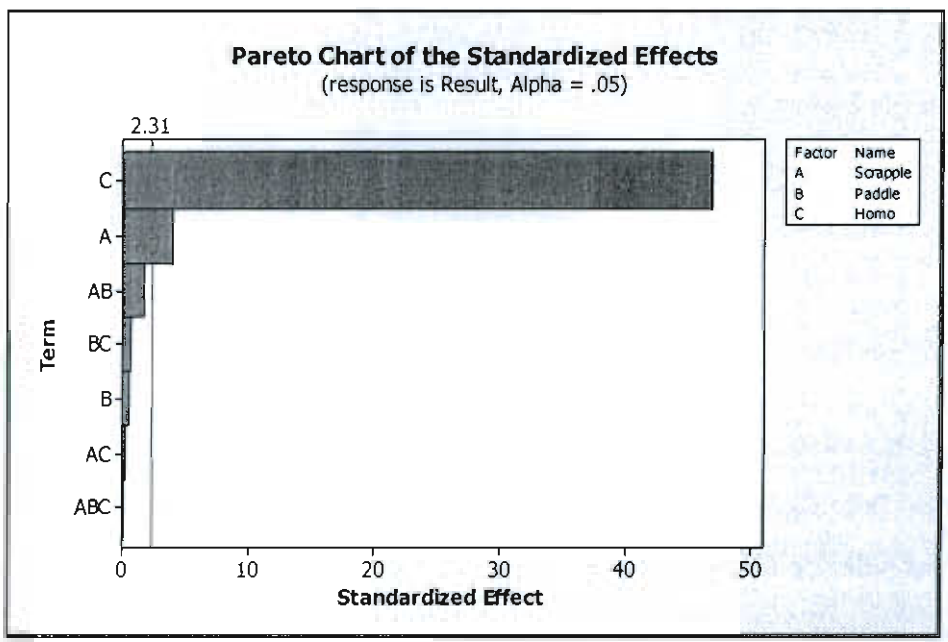
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	468536226	468536226	156178742	736.31	0.000
2-Way Interactions	3	696621	696621	232207	1.09	0.406
3-Way Interactions	1	6889	6889	6889	0.03	0.861
Residual Error	8	1696880	1696880	212110		
Pure Error	8	1696880	1696880	212110		
Total	15	470936616				

Estimated Coefficients for Result using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	24095.7
Scrapple	-170.083
Paddle	-2426.50
Homo	-6229.25
Scrapple*Paddle	128.667
Scrapple*Homo	25.750
Paddle*Homo	398.50
Scrapple*Paddle*Homo	-13.8333

ภาพที่ 4-8 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

โดยเริ่มพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อพิจารณาว่าความผันแปรของค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A สามารถอธิบายได้จากความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบมากน้อยเพียงใด ซึ่งในที่นี้พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 99.64% สามารถอธิบายได้ด้วยความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบได้ถึง 99.64 หน่วย^2 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจว่าจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในระดับที่ดีมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปจากภาพที่ 4-7 เริ่มจากการพิจารณาจากความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (Three Way Interaction) โดยผ่านค่า P-Value มีค่าสูง (0.861) แสดงว่าตัวสถิติ F หรืออัตราส่วนความแปรปรวน (Variance Ratio) มีค่าต่ำ (0.03) แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง ค่าความเร็วรอบใบปาด (Scrapple) ค่าความเร็วรอบใบกวน (Paddle) และชนิดของ Homogenizer มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A อย่างไม่มีนัยสำคัญ จากนั้นพิจารณาความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two Way Interaction) โดยผ่านค่า P-Value มีค่าสูง (0.861) แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเร็วรอบใบปาด (Scrapple) ค่าความเร็วรอบของใบกวน (Paddle) ค่าความเร็วรอบของใบปาด กับชนิดของ Homogenizer และค่าความเร็วรอบของใบกวนกับชนิดของ Homogenizer มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A อย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A

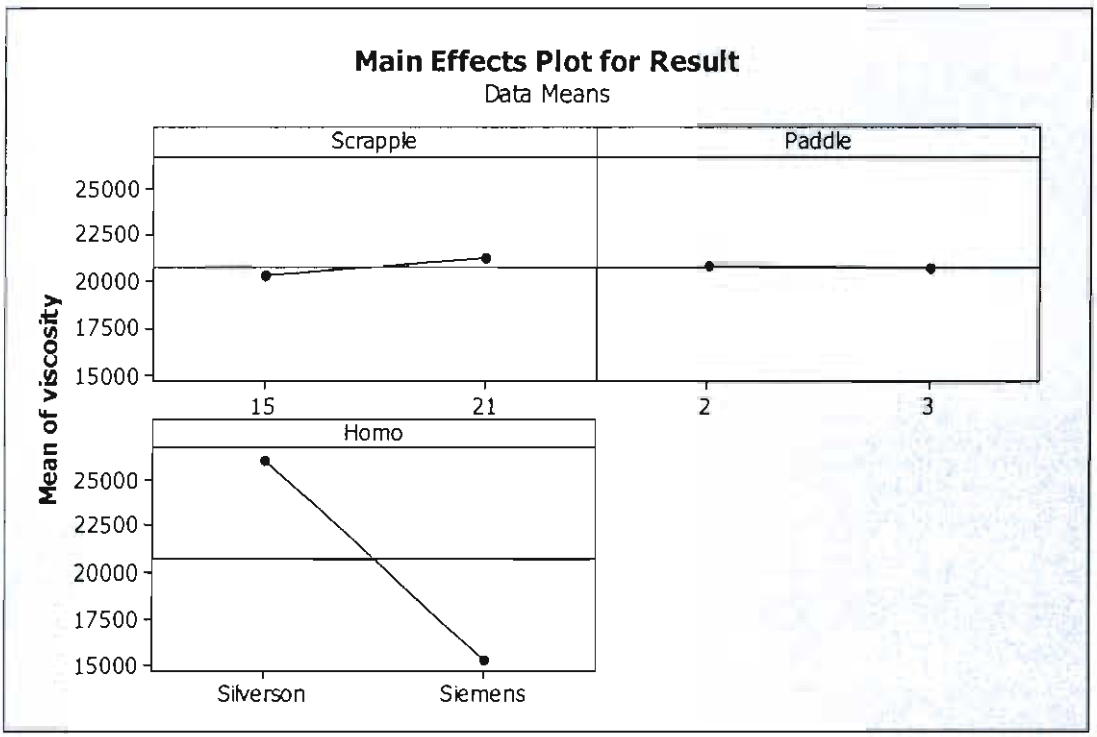
เมื่อพิจารณาค่า P-Value จากภาพที่ 4-7 พบว่าปัจจัยหลักที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) สรุปปัจจัยที่มีผลภายใต้ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก (Main Effect)

   1.1 ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper)

   1.2 ชนิดของหัว Homogenizer

2. การวิเคราะห์ระดับปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction Effect) การวิเคราะห์ระดับปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าความหนืด แสดงได้ดังภาพที่ 4-10 และภาพที่ 4-11 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-10 กราฟค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดต่อปัจจัยหลักในการทดลองเบื้องต้น

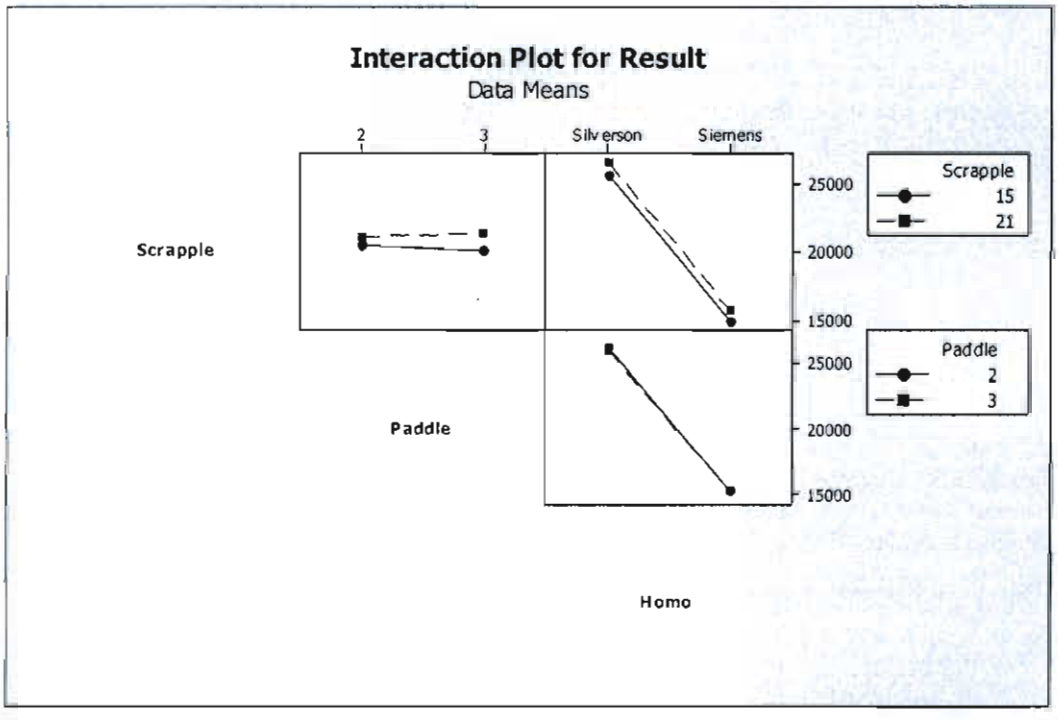
จากกราฟค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดต่อปัจจัยหลัก ดังภาพที่ 4-10 จะทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ผลของความเร็วรอบของใบปาดต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าที่ความเร็วรอบของใบปาดมาก ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นระดับหนึ่ง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบของใบปาดลดลงระดับหนึ่งแสดงว่าความเร็วรอบของใบปาด มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด

2. ผลของความเร็วรอบของใบกวนต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดเมื่อความเร็วรอบของใบกวนเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าความเร็วรอบของใบกวนไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด

3. ผลของชนิดของ Homogenizer ต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าที่ชนิดของหัว Homogenizer เป็น Siemens จะทำให้ค่าความหนืดลดลงระดับหนึ่ง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อชนิดของหัว Homogenizer เป็น Silverson แสดงว่าชนิดของหัว Homogenizer มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด

ดังนั้นปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด คือ ความเร็วรอบของใบปาด และชนิดของหัว Homogenizer



ภาพที่ 4-11 กราฟค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดต่อปัจจัยร่วมในการทดลองเบื้องต้น

และเมื่อพิจารณาจากความมีนัยสำคัญของปัจจัยหลัก (Main Effect) จากภาพที่ 4-5 พบว่าค่า P-Value มีค่าต่ำคือ 0.000 แสดงว่าค่า F มีค่าสูง 736.31 หมายความว่าปัจจัยหลัก

อย่างน้อย 1 ตัวที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของปัจจัยหลักที่ละปัจจัยพบว่า P-Value ของรอบใบปาด (Scrapple) มีค่าเท่ากับ 0.004 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของใบกวนมีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A และอีกปัจจัย คือ ชนิดของหัว Homogenizer มีค่าเท่ากับ 0.000 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของชนิดหัว Homogenizer มีผลต่อความหนืดของโลชั่นชนิด A เช่นกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเทอมของ linear มาใช้ในการพยากรณ์หาค่าความหนืดที่เหมาะสม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ นำมาแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงค่าสัมประสิทธิของตัวแปร

Term	**Coefficient**
Constant	20758
Speed of scrapple	455
Type of Homo	-5392

โดยมีแบบจำลองของสมการทางคณิตศาสตร์ในรูป Code Units คือ

$$Y = 20758 - 455A + 5392 \qquad (4\text{-}1)$$

โดยมีข้อจำกัด คือ $15 \leq A \leq 21$

Y = ค่าความหนืด

A = ความเร็วรอบของ Scrapple

B = ชนิดของหัว Homo

ซึ่งสามารถแปลค่า A ได้ดังนี้

$$A = \frac{A - (15-21)/2}{(21-15)/2}$$

$$A = 1/3A-6$$

$$A = 15 = \frac{15 - 18}{3} = -1$$

$$A = 21 = 21-18 = +1$$

และสามารถสร้างแบบจำนวนของสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของ Uncode Units คือ

$$\begin{aligned} 25,000 &= 20,758 + 455\,(1/3A - 6) + 5,392 \\ &= 20,758 + 455A/3 - 2,730 + 5,392 \\ &= 20,758 + 151A - 2,730 + 5,392 \\ &= 23,420 + 151A \\ A &= 11 \end{aligned}$$

จากการคำนวณพบว่าค่า B ที่ทำให้ค่าความหนืดของ โลชั่น A ได้เท่ากับค่า Target 25,000 cps. คือ ความเร็วรอบของ Scrapple = 11 rpm แต่ข้อจำกัดของความเร็วรอบที่กำหนดไว้คือช่วง $15 \leq A \leq 21$ เพราะฉะนั้นหาค่า Y ได้จากสมการ

$$Y = 20,758 - 155A - 2,730 + 5,392 \qquad (4\text{-}2)$$

$$Y = 20,758 - (155*15) - 2,730 + 5,392$$

$$Y = 25,685 \text{ cps}$$

เมื่อนำข้อจำกัดของตัวแปร A ไปแทนค่าในสมการที่ (4-2) พบว่าค่าความหนืด (Y=25,685) cps ในการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลักทั้ง 2 ชนิดที่จะทำให้เกิดค่าความหนืดที่ 25,685 cps ทำให้ได้กราฟของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดโดยการใช้สมการที่ (4-2) ดังแสดงในภาพที่ 4-11 และตารางที่ 4-3 จุดเหมาะสมของการปรับค่าความหนืดโลชั่นชนิด A ตามภาพที่ 4-10 คือ

1. ปรับความเร็วรอบของ Scrapple ที่ 15 rpm

2. ชนิดของ Homo คือ Silverson จะทำเกิดค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A ที่ประมาณ 25,685 cps

การทดสอบเพื่อยืนยันสมมติฐาน

เพื่อที่จะยืนยันผลว่าจุดที่เหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยเป็นสภาวะที่เหมาะสม จึงต้องทำการทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยการนำข้อมูลค่าความหนืดที่ได้จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมทั้งหมด 20 ครั้งมาเปรียบเทียบกับค่าคาดหวัง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าความหนืดแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าความหนืดที่ได้จากทดสอบสภาวะที่เหมาะสมมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ

ลำดับการทดลอง	ค่าความหนืดจากสมการ (cps)	ค่าความหนืดจากการทดสอบ (cps)
1		25420
2		25700
3		25910
4		25750
5		25650
6		25710
7		25490
8		25720
9		25810
10		25530
11	25,685	25670
12		25800
13		25780
14		25450
15		25790
16		25840
17		25790
18		25880
19		25530
20		25880
เฉลี่ย	**25,686**	**25,706**

การทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในการวิจัย

สมมติฐาน

$$H0 : \mu 1 = 25{,}685$$

$$H1 : \mu 1 \neq 25{,}685$$

เมื่อ $\mu 1$ = ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดที่ได้จากการคำนวณ = 25,685 cps. คำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองสภาวะด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 4-12

One-Sample T: Viscosity

Test of mu = 25685 vs not = 25685

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Viscosity	20	25706.0	150.3	33.6	(25635.7, 25776.3)	0.62	0.540

ภาพที่ 4-12 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานแบบ T test ของค่าเฉลี่ยของความหนืด

จากภาพที่ 4-12 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดที่คาดหวัง ($\mu 1$) และค่าเฉลี่ยความหนืดจากการทดลองจากสภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัย ($\mu 2$) โดยจากผลการทดสอบพบว่าค่า P- value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการทดลองจากสภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดที่คาดหวังที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สรุปผลการทดลอง

สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A คือ ค่าความเร็วรอบของใบกวน (Scrapper) ที่ใช้ในการผสมโลชั่นชนิด A และชนิดของหัว Homogenizer ซึ่งพบว่าค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A อยู่ ซึ่งค่าที่ให้ความหนืดของโลชั่นชนิด A อยู่ที่ค่ากลาง คือ ค่าความเร็วรอบของใบกวน (Scrapple) ที่ 15 rpm และชนิดของ Homogenizer คือ Silverson ดังตารางที่ 4-5 ซึ่งค่าควบคุมพิกัดทางวิศวกรรมของปัจจัยทั้งสองดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงระดับปัจจัยที่ใช้ในการควบคุม

Factor	Parameter Setting
รอบของใบกวน (Scrapper)	15 rpm
ชนิดของ Homogenizer	Silverson

ประยุกต์ใช้จริง

นำสภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ผลิตจริงโดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 340 batch ตั้งแต่วันที่ 2-22 กุมภาพันธ์ 2555 เป็นเวลาทั้งหมด 20 วัน ซึ่งในแต่ละวันจะมีการผลิตวันละ 2 batch รวมการยืนยันผลการทดลองทั้งสิ้น 40 ครั้ง พบว่าจะได้ค่าความหนืด ดังแสดงรายละเอียดการทดลองตามตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความหนืดกาวจากการผลิตจริง

Batch No.	Viscosity (cps.)	Batch No.	Viscosity (cps.)
1	26620	21	26500
2	26400	22	25400
2	26560	23	25800
4	26815	24	26500
5	26735	25	25400
6	25050	26	27200
7	26550	27	27400
8	25700	28	26300
9	26675	29	24900
10	26655	30	25600
11	27070	31	25400
12	27165	32	26200
13	26345	33	25900
14	27240	34	25700
15	27200	35	26100

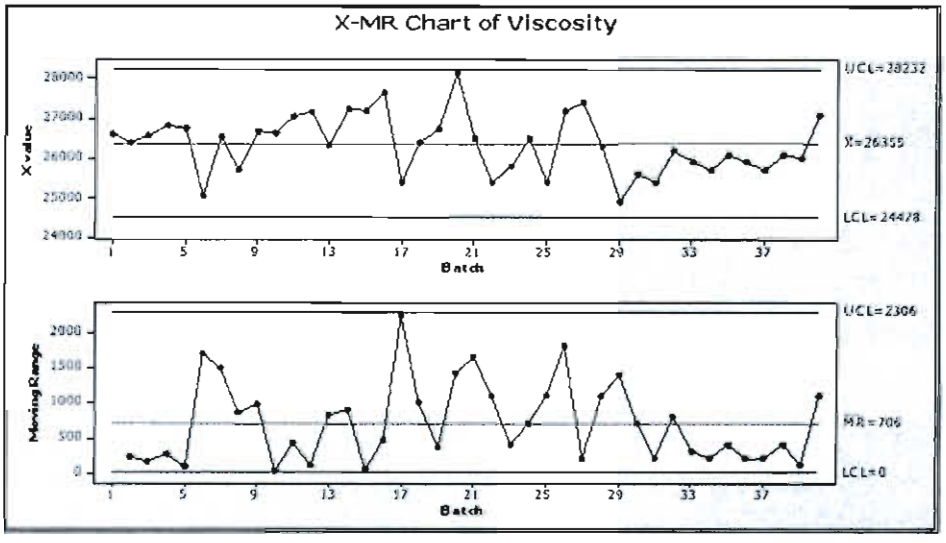
ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความหนืดกาวจากการผลิตจริง (ต่อ)

Batch No.	Viscosity (cps.)	Batch No.	Viscosity (cps.)
16	27650	36	25900
17	25400	37	25700
18	26385	38	26100
19	26735	39	26000
20	28155	40	27100

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปปฏิบัติจริงและทำการเก็บข้อมูลค่าความหนืดซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4-5 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างผังควบคุมกระบวนการผลิตชนิด X-MR Chart ซึ่งจะแสดงในหัวข้อต่อไป

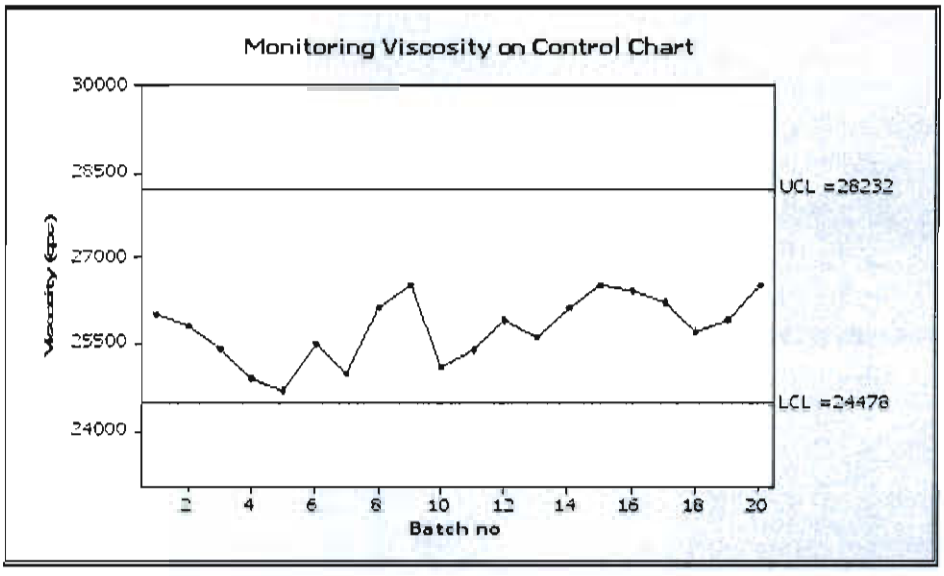
ทำการติดตามผล

หลังจากนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปปฏิบัติใช้จริง และทำการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 4-5 แล้วจึงนำผลที่ได้มาสร้างแผนผังควบคุมกระบวนการผลิตชนิด X-MR Chart ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาช่วงของค่าควบคุมในกระบวนการผลิต ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4-13 จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมอีกในช่วงระหว่างวันที่ 23-5 มีนาคม 2555 จำนวน 40 batch แล้วจึงนำมาพล็อตลงบนผังควบคุมกระบวนการผลิตที่สร้างไว้ในตอนแรก เพื่อยืนยันว่ากระบวนการมีความผันแปรคงที่และอยู่ภายใต้กระบวนการควบคุมทางสถิติและมีความสามารถเพียงพอ (In Statistical Control and Capable) ซึ่งจะมีความผันแปรที่มีสาเหตุจากธรรมชาติเท่านั้น



ภาพที่ 4-13 แสดง X- MR Chart ของการผลิต

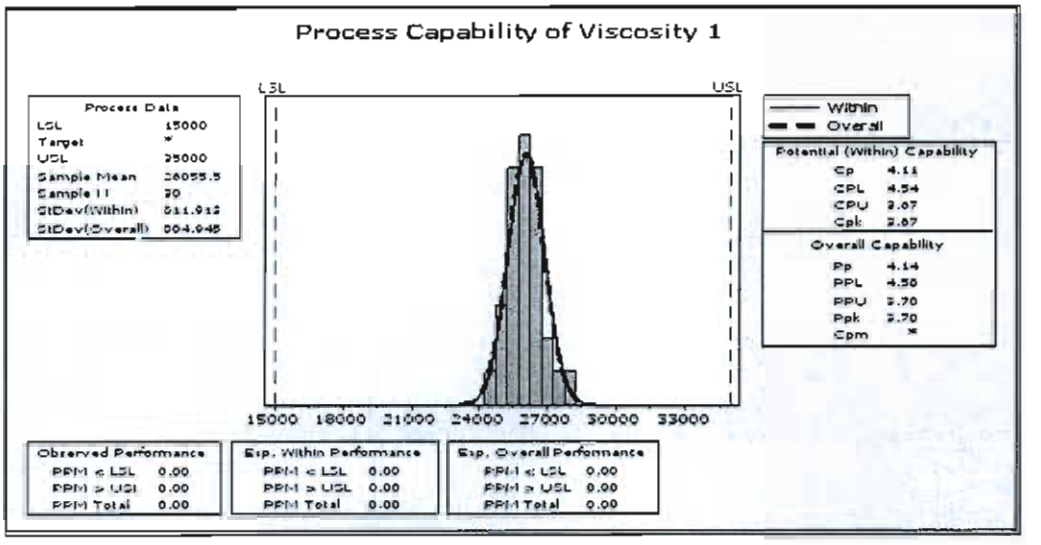
จากการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปปฏิบัติใช้จริง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนผังควบคุมการผลิต X-MR Chart พบว่ากราฟที่ได้ไม่ได้บ่งชี้ถึงความผิดปกติใด ๆ ของค่ากลางของกระบวนการ ดังนั้นกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และสามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของกระบวนการต่อไป โดยจะให้ช่วงของค่าควบคุมดังนี้ CL = 26,355 LCL = 24,478 UCL = 28,232 ซึ่งเมื่อนำผังควบคุมกระบวนการผลิตที่ได้มาใช้ติดตามความสามารถของกระบวนการผลิตแล้วนั้นแสดงได้ดังแผนภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 แผนผังการตรวจติดตามค่าความหนืดของกระบวนการ

จากภาพที่ 4-14 เมื่อทำการติดตามเก็บข้อมูลเพิ่มเติมอีก 20 batch แล้วนำมาพลอตลงบนแผนผังควบคุมการผลิต X-MR Chart พบว่ากระบวนการมีความผันแปรคงที่อยู่ภายใต้กระบวนการควบคุมทางสถิติและมีความสามารถเพียงพอ (In Statistical Control and Capable) ซึ่งมีความผันแปรที่ที่สาเหตุจากธรรมชาติเท่านั้น

จากสภาวะการผลิตใหม่ที่มีความเหมาะสมส่งผลให้ค่าความหนืดที่ได้ผ่านคุณภาพภายในการผลิตครั้งแรก ส่งผลให้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตสั้นลง นั่นคือสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งสังเกตได้จากการวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการหลังจากการปรับปรุง เมื่อทำการเก็บข้อมูลจำนวน 30 batch ดังภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-15 การวิเคราะห์ความสามารถปัจจุบันของกระบวนการของโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต

จากภาพที่ 4-15 แสดงความสามารถปัจจุบันของกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต ที่มีค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk =3.67) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ทางบริษัทต้นแบบมีความพึงพอใจมาก

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

สรุปกระบวนการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม ในกระบวนการผสมโลชั่นที่บริษัทรับจ้างผลิต โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ซึ่งเป็นโลชั่นที่มีปริมาณการผลิตสูงแต่กำลังการผลิตของบริษัทต้นแบบไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จึงดำเนินการจ้างบริษัทผู้รับจ้างผลิตโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment) เพื่อให้ได้ปัจจัยหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตของบริษัทรับจ้างผลิตใกล้เคียงกับบริษัทต้นแบบ เพื่อต้องการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเป็นการขยายกำลังการผลิต อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันให้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย เนื่องจากสามารถผลิตได้ทันกับความต้องการที่ไม่แน่นอนของลูกค้า

วัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผสมโลชั่นชนิด A เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตแล้ว จึงกำหนดเป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตที่บริษัทรับจ้างผลิต

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษา เมื่อผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในการหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต และทำการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต และหาจุดที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานต่อไปนั้น จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลสรุปตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด (Viscosity) ของโลชั่นชนิด A หลังจากการทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัย (Screening Factor Experimental) คือ

1.1 ความเร็วรอบของใบปาด (Scrapper)

1.2 ชนิดของ Homogenizer

ในขณะที่ปัจจัยที่เหลือซึ่งก็คือ ความเร็วรอบของใบกวน (Paddle) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A

2. ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความหนืด (Viscosity) ของโลชั่นอยู่ในช่วงข้อกำหนด คือ 15,000-35,000 cps และมีค่าความหนืดเข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนด คือ 25,000 cps โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ Response Surface Methodology ทำให้ได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดโลชั่นดังนี้

$$Y = 20,758 - 155A - 2,730 + 5,392 \quad (5\text{-}1)$$

โดยเมื่อจำกัด $15 \leq A \leq 21$

Y = ค่าความหนืด

A = ความเร็วรอบของ Scrapple

B = ชนิดของหัว Homo

จุดเหมาะสมในการปรับค่าปัจจัย ที่จะทำให้มีค่าความหนืดของโลชั่นอยู่ที่ค่าประมาณ 25,685 cps แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงจุดเหมาะสมในการปรับค่าปัจจัย

ปัจจัย	จุดที่เหมาะสม	หน่วย
ความเร็วรอบของ Scrapple	15	rpm
ชนิดของหัว Homo	Silverson	type

การทดสอบสมมติฐานเพื่อที่จะยืนยันผลว่าจุดที่เหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยเป็นสภาวะที่เหมาะสม พบว่าค่า P-value > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ได้จากการทดลองจากสภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดที่คาดหวังที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

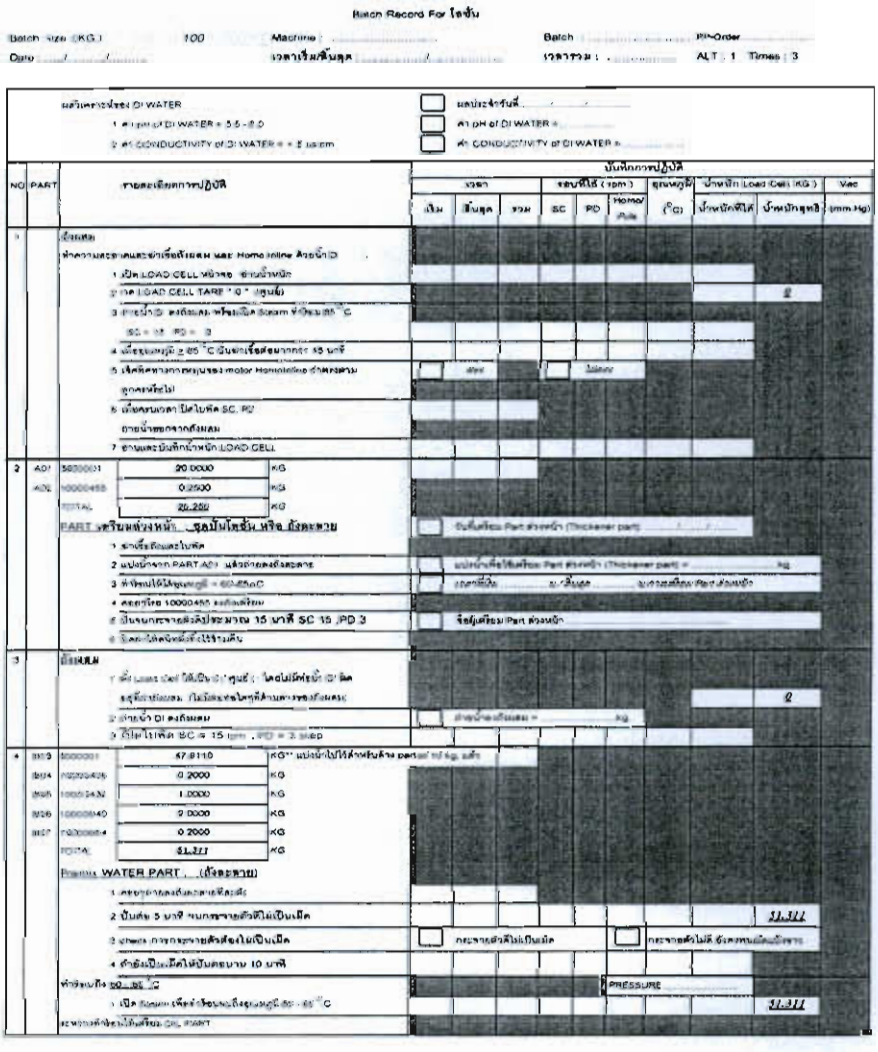
3. เมื่อนำผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ในการผลิตจริง พบว่าค่าความหนืดของโลชั่นยังคงอยู่ในช่วงข้อกำหนดที่ค่าความหนืด 15,000-35,000 cps และเมื่อตรวจติดตามความผันแปรของกระบวนการด้วย X-MR Chart พบว่ากระบวนการมีความผันแปรคงที่และอยู่ภายใต้กระบวนการควบคุมทางสถิติและมีความสามารถเพียงพอ (In Statistical Control and Capable) ซึ่งจะมีความผันแปรที่มีสาเหตุจากธรรมชาติเท่านั้น

จากสภาวะการผลิตที่มีความเหมาะสมส่งผลให้ค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A ที่ทำการผลิตได้ที่บริษัทรับจ้างผลิตมีคุณภาพสอดคล้องกับข้อกำหนด และสามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตของบริษัทรับจ้างผลิตได้ Cpk = 3.67 ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบความสามารถปัจจุบันของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง

Cpk ที่สามารถยอมรับได้	Cpk ที่ทำได้
1.33	3.67

และมีการกำหนดกระบวนการผลิตในรูปแบบของเอกสารบันทึกการทำงานตามภาพที่ 5-1 และเอกสารตามภาคผนวก



ภาพที่ 5-1 แสดงเอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต

สิ่งที่ค้นพบจากการวิจัย

เมื่อเรานำหลักการของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนั้น ทำให้เราทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของโลชั่นและทราบถึงจุดที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วงข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยกับวรรณกรรมที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม ทำให้เราพบซึ่งความสอดคล้องซึ่งกันและกันของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล และการวิเคราะห์สมการถดถอยสำหรับการสร้างแบบจำลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหลายในสภาวะที่เหมาะสมต่อตัวแปรตอบสนองที่เราสนใจ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยเกิดความเชื่อมั่นได้ว่า ได้แนวทางแก้ไขที่ถูกต้องแล้ว ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้พยายามนำเครื่องมือของการออกแบบการทดลองมาเป็นแนวคิดในการปรับปรุงดังที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 4 และหลังจากการออกแบบและทดลองในงานวิจัย ทำให้เราพบว่าสิ่งที่เราคิดและทำการออกแบบนั้นสามารถใช้งานได้จริงรวมถึงทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตรงกันกับแนวทางที่วางไว้

ข้อดีของการศึกษา

จากผลของการเข้าไปศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน รวมถึงการออกแบบการทดลองและการดำเนินงานจริงแล้ว เราจะพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตโลชั่น สามารถทำให้สร้างระบบการผลิตมีประสิทธิภาพของบริษัทรับจ้างผลิตได้ และทำให้บริษัทรับจ้างผลิตสามารถเป็นตัวแทนในการผลิตสินค้ากลุ่มโลชั่นให้กับบริษัทต้นแบบได้ และสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของโลชั่นชนิด A เท่านั้น เนื่องจากเป็นกลุ่มสินค้าที่กำลังประสบปัญหาอยู่ในปัจจุบัน และยังเป็นสูตรมาตรฐานของบริษัทซึ่งสามารถใช้เป็นตัวอ้างอิงการผลิตกับโลชั่นตัวอื่นได้ แต่ทั้งนี้ทางบริษัทยังมีผลิตภัณฑ์อีกหลายกลุ่ม เช่น แชมพู ครีมนวด Body Butter Roll On เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยต่อไปจึงควรทำการศึกษาในผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่นด้วย เพื่อทำให้ระบบการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และสามารถตอบสนองความต้องการผลิตที่มากขึ้นต่อไป

บรรณานุกรม

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2545). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2550). หลักการการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กฤษฎา อัศวรุ่งแสงกุล. (2542). การปรับปรุงคุณภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาคร กฤชอาคม. (2550). การศึกษาวิธีการแก้ปัญหาด้านการปรับตั้งปัจจัยต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขัดผิวสำเร็จด้วยการพ่นเม็ดเซรามิค. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา. (2541). การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทวีป จีระประดิษฐ์. (2538). การศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะในกรรมวิธี อี ดี เอ็ม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธนพงศ์ เวชพงศ์. (2543). การศึกษาสาเหตุและปรับปรุงกระบวนการเจาะเพื่อลดการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากรูเจาะเกินขนาด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บรรหาญ ลิลา. (2551). เอกสารประกอบการเรียนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น. สาขาวิชาวิศวกรรมอุดสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: ท้อป.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภวะพล ภู่พูลทรัพย์. (2551). ปัจจัยในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้ากึ่งอัตโนมัติโดยใช้ก๊าซผสมปกคลุมสำหรับเหล็กกล้าเอส เอส 400 (Gas Metal Are Welding : GMAW). งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา.

แม้น อมรสิทธิ์. (2545). วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: ท้อป.

เยาวภา เลาหทวีโชค. (2544). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบอลูมิเนียม. วงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริรัตน์ เซียวประยูร. (2540). การลดของเสียในกระบวนการหล่อฝาสูบอะลูมิเนียมโดยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมศักดิ์ วรรณชัย. (2549). จุดที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งของกระดาษสาสีที่ย้อมด้วยวัสดุธรรมชาติโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุดสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุรพล สุรบรรเจิดพร. (2538). การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตะกั่ว-ดีบุก บนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกรัฐ เมนะจินดา. (2542). การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Cheng, Shao-Wei and Wu ,C.F.J. (2001). " Factor Screening and Response Surface Exploration" [Online]. Avaliable:http://www.stat.sinica.edu.tw/jilln31/jilln31 htm [2002,December 1].

Montgomery, D.C. (2005). Design and Analysis of Experiment (6th ed.). New York : John Wiley & Sons, Inc.

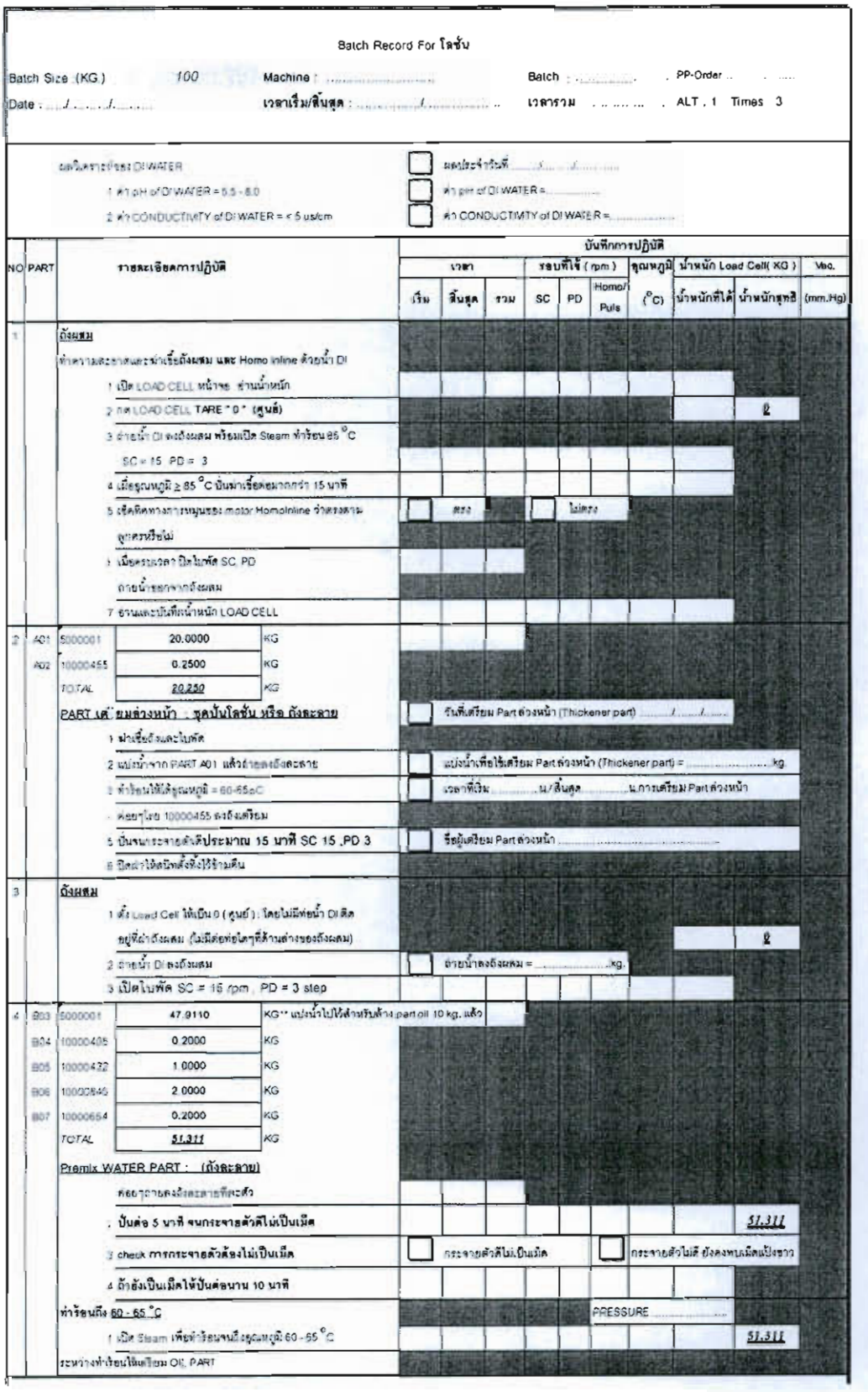
Minitab Inc. User's Guide2. (2000). Data Analysis and Quality Tools. United States of America : Minitab Ltd.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Rudolf J. Freund,,William J. Wilson. (1998). Regression Analysis: Statistical Modelling of a Response Variable. San Diego : Academic Press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



Batch Record For โลชั่น

Batch Size (KG.) 100 Machine : ..... Batch : ..... PP-Order ..

Date : ../../..... เวลาเริ่ม/สิ้นสุด : ...../..... เวลารวม ..... ALT , 1 Times 3

ผลวิเคราะห์ของ DI WATER ☐ ผลประจำวันที่ ...../...../.....

1 ค่า pH of DI WATER = 5.5 - 8.0 ☐ ค่า pH of DI WATER = ...

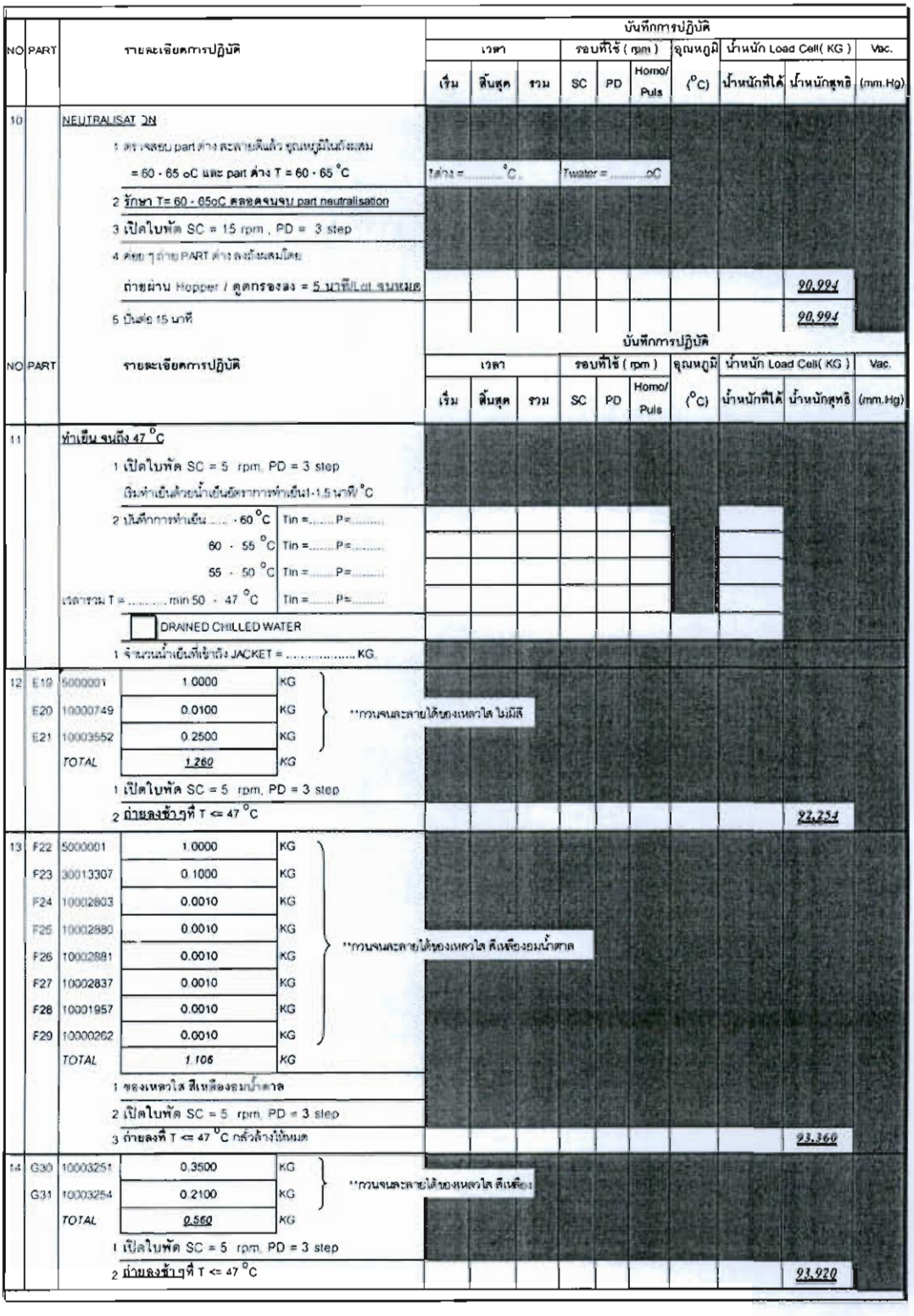
2 ค่า CONDUCTIVITY of DI WATER = < 5 us/cm ☐ ค่า CONDUCTIMTY of DI WATER = ...

NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ			บันทึกการปฏิบัติ								
					เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)	Vac.
					เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
1		ถังผสม											
		ทำความสะอาดและล้างเครื่องถังผสม และ Homo Inline ด้วยน้ำ DI											
		1 เปิด LOAD CELL หน้าจอ อ่านน้ำหนัก											
		2 กด LOAD CELL TARE " 0 " (ศูนย์)											0
		3 ต่อน้ำ DI ลงถังผสม พร้อมเปิด Steam ทำร้อน 85 °C											
		SC = 15 PD = 3											
		4 เมื่ออุณหภูมิ ≥ 85 °C ปั่นล้างเครื่องผสมอย่างต่ำ 15 นาที											
		5 เช็คทิศทางการหมุนของ motor Homolnline ว่าตรงตาม			☐ ตรง			☐ ไม่ตรง					
		ลูกศรหรือไม่											
		6 เมื่อครบเวลา ปิดโฮมิกซ์ SC PD											
		ถ่ายน้ำออกจากถังผสม											
		7 อ่านและบันทึกน้ำหนัก LOAD CELL											
2	A01	5000001	20.0000	KG									
	A02	10000455	0.2500	KG									
		TOTAL	20.250	KG									
		PART เค้ : ผสมล่วงหน้า : ชุดปั่นโลชั่น หรือ ถังละลาย			☐ รันที่เตรียม Part ล่วงหน้า (Thickener part) ...../...../.....								
		1 ฝาเครื่องละโบกิด											
		2 แบ่งน้ำจาก PART A01 แล้วถ่ายลงถังละลาย			☐ แบ่งน้ำเพื่อใช้เตรียม Part ล่วงหน้า (Thickener part) = ...kg.								
		3 ทำร้อนให้ได้อุณหภูมิ = 60-65oC			เวลาที่เริ่ม .....น./สิ้นสุด .....น.การเตรียม Part ล่วงหน้า								
		หลอดไฮย 10000455 ลงถังเตรียม											
		5 ปั่นจนกระจายตัวดีประมาณ 15 นาที SC 15 ,PD 3			☐ รีอผู้เตรียม Part ล่วงหน้า								
		6 ปิดเต้าให้สนิทสังทิ้งไว้ข้ามคืน											
3		ถังผสม											
		1 ตั้ง Load Cell ให้เป็น 0 (ศูนย์) โดยไม่มีท่อน้ำ DI ติด											
		อยู่ที่ถังผสม (ไม่มีต่อท่อใดๆที่ด้านล่างของถังผสม)											0
		2 ถ่ายน้ำ DI ลงถังผสม			☐ ถ่ายน้ำลงถังผสม = ...kg.								
		3 เปิดโฮมิกซ์ SC = 15 rpm , PD = 3 step											
4	B03	5000001	47.9110	KG** แบ่งน้ำไปใช้สำหรับล้าง part oil 10 kg. แล้ว									
	B04	10000405	0.2000	KG									
	B05	10000432	1.0000	KG									
	B06	10000645	2.0000	KG									
	B07	10000654	0.2000	KG									
		TOTAL	51.311	KG									
		Premix WATER PART : (ถังละลาย)											
		ค่อยๆถายลงถังละลายทีละถัง											
		1 ปั่นต่อ 5 นาที จนกระจายตัวดีไม่เป็นเม็ด											51.311
		2 check การกระจายตัวต้องไม่เป็นเม็ด			☐ กระจายตัวดีไม่เป็นเม็ด					☐ กระจายตัวไม่ดี ยังคงหลงเม็ดแป้งขาว			
		4 ถ้ายังเป็นเม็ดให้ปั่นต่อนาน 10 นาที											
		ทำร้อนถึง 60 - 65 °C								PRESSURE			
		1 เปิด Steam เพื่อทำร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 - 65 °C											51.311
		ระหว่างทำร้อนให้เตรียม Oil PART											

ภาพภาคผนวก ก-1 เอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต

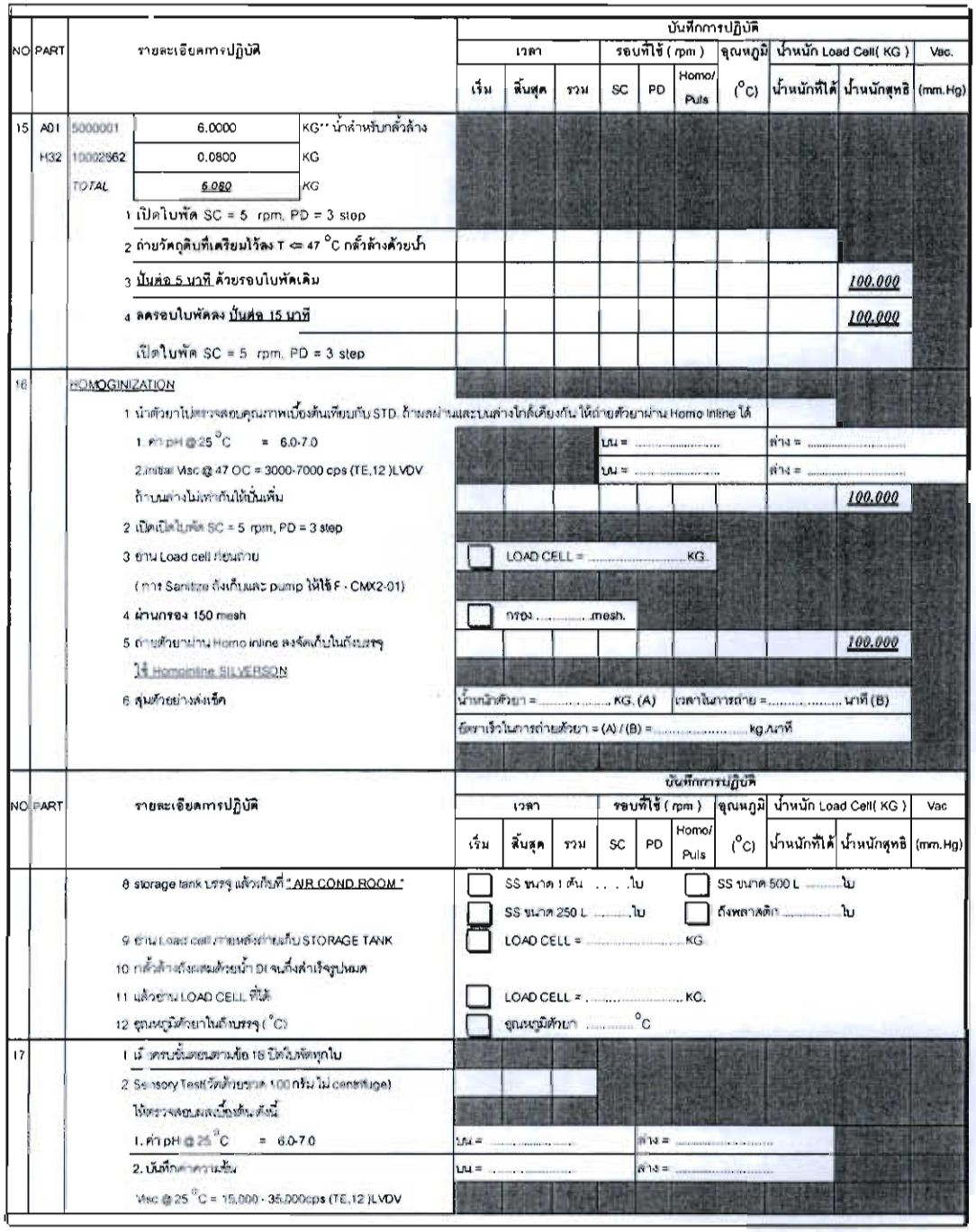
NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ	บันทึกการปฏิบัติ									
			เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac
			เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
5		ถ่าย PART 803-B07 ลงถังผสม										
		1 ถ่าย Part 803-B07 ลงถังผสม									51.311	
		2 เปิดใบพัด SC = 15 rpm PD = 3 step									51.311	
6		ดูด PART เตรียมล่วงหน้า ลงถังผสม (SC=15 rpm.PD = 3 step)										
		1 นำ PART เตรียมล่วงหน้ามาเป็นจนกระจายตัวดีก่อนถ่ายลง										
		2 ถ่าย PART เตรียมล่วงหน้า ลงถังผสมโดยใช้ pump ดูดลง										
		3 ล้างถังล้างถังละลายด้วยน้ำจนหมด	☐ น้ำหนักน้ำ DI ที่เหลือสำหรับถังล้างถังละลาย = ... kg.									
		4 ปั่นต่อจนกระจายตัวดี									71.561	
		5 check การกระจายตัวต้องไม่เป็นเม็ด	☐ กระจายตัวดีไม่เป็นเม็ด					☐	กระจายตัวไม่ดี ยังคงพบเม็ดแป้งขาว หรือเม็ดใส			
		6 ถ้า ยังเป็นเม็ดให้ปั่นต่อนาน 10 นาที									71.561	
		ทำร้อนถึง 60 - 65 °C						PRESSURE				
		1 เปิด Steam เพื่อทำร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 - 65 °C									71.561	
7	C08	10004032	2.0000	KG								
	C09	10000301	0.5000	KG								
	C10	10000268	1.0000	KG								
	C11	10001302	0.2000	KG								
		TOTAL	3.700	KG								
		Premix OIL PART : (ถังละลาย)										
		1 เปิด steam ทำร้อน 60 - 65 °C										
		2 เมื่อถังร้อน ถ่ายลงทีละตัวเปิดใบพัด SC = 15 rpm PD = 3 step									3.700	
		3 ปั่นจนละลาย รักษา T= 60 - 65 °C										
	C12	10000305	1.0000	KG								
	C13	10002796	0.9000	KG								
	C14	10002663	0.5000	KG								
	C15	10000684	0.2000	KG								
	C16	10001426	0.0500	KG								
		TOTAL	2.650	KG								
		4 ถ่ายลงทีละตัวที่ T = 60 - 65oC เปิดใบพัด SC = 15 rpm PD = 3 step									6.350	
		5 ปั่นจนละลาย รักษา T= 60 - 65 °C										
		ได้ของเหลวใสเหลืองอ่อน									6.350	
8		EMULSION										
		1 ตรวจสอบ part oil ละลายดีแล้ว อุณหภูมิในถังผสม และ part oil = 60 - 65 °C	Toil = ...°C , Twater = ...°C									
		2 รักษา T= 60 - 65oC ตลอดจนจบ part emulsion										
		3 เปิดใบพัด SC = 15 rpm . PD = 3 step										
		4 ค่อย ๆ ถ่ายลง OIL PART ลงถังผสม ผ่านกรอง 150 mesh										
		อัตราการถ่าย = 10 นาที/Lot									77.911	
	A01	5000001	10.0000	KG	*** น้ำร้อนสำหรับกลั้วล้าง oil							
		5 กลั้วล้างถังละลาย oil ด้วยน้ำร้อนที่แบ่งไว้										
		6 ปั่น ต่อ 10 นาที									87.911	
9	D17	5000001	3.0000	KG								
	D18	10000554	0.0830	KG								
		TOTAL	3.083	KG								
		Premix ด่าง PART : (ถังละลาย)										
		1 ถ่ายน้ำลงถังละลายถ่าย 10000554 ลงถังละลาย										
		2 เปิดใบพัด SC = 15 rpm . PD = 3 step										
		3 ปั่นจนละลาย รักษา T= 60 - 65 °C										

ภาพภาคผนวก ก-1 เอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต (ต่อ)



NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ	บันทึกการปฏิบัติ									
			เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac.
			เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
10		NEUTRALISAT ON										
		1 ตรวจสอบ part ต่าง ละลายดีแล้ว อุณหภูมิในถังผสม = 60 - 65 oC และ part ต่าง T = 60 - 65 °C	T ต่าง = ... °C			T water = ... oC						
		2 รักษา T= 60 - 65oC ตลอดจนจบ part neutralisation										
		3 เปิดใบพัด SC = 15 rpm , PD = 3 step										
		4 ค่อย ๆ ถ่าย PART ต่าง ลงถังผสมโดย										
		ถ่ายผ่าน Hopper / ตูดกรองลง = 5 นาที/Lot จนหมด									90.994	
		5 ปั่นต่อ 15 นาที									90.994	
NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ	บันทึกการปฏิบัติ									
			เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac.
			เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
11		ทำเย็น จนถึง 47 °C										
		1 เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step										
		เริ่มทำเย็นด้วยน้ำเย็นอัตราการทำเย็น1-1.5 นาที/ °C										
		2 บันทึกการทำเย็น ..... - 60 °C Tin =.....P=.....										
		60 - 55 °C Tin =.....P=.....										
		55 - 50 °C Tin =.....P=.....										
		เวลารวม T = ... min 50 - 47 °C Tin =.....P=.....										
		☐ DRAINED CHILLED WATER										
		1 จำนวนน้ำเย็นที่เข้าถัง JACKET = ... KG.										
12	E19	5000001 — 1.0000 KG										
	E20	10000749 — 0.0100 KG										
	E21	10003552 — 0.2500 KG										
		TOTAL — 1.260 KG										
		** กวนจนละลายได้ของเหลวใส ไม่มีสี										
		1 เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step										
		2 ถ่ายลงช้า ๆ ที่ T <= 47 °C									23.254	
13	F22	5000001 — 1.0000 KG										
	F23	30013307 — 0.1000 KG										
	F24	10002803 — 0.0010 KG										
	F25	10002880 — 0.0010 KG										
	F26	10002881 — 0.0010 KG										
	F27	10002837 — 0.0010 KG										
	F28	10001957 — 0.0010 KG										
	F29	10000262 — 0.0010 KG										
		TOTAL — 1.106 KG										
		** ของเหลวใส สีเหลืองอมน้ำตาล										
		1 เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step										
		2 ถ่ายลงที่ T <= 47 °C กลั้วล้างให้หมด									23.360	
14	G30	10003251 — 0.3500 KG										
	G31	10003254 — 0.2100 KG										
		TOTAL — 0.560 KG										
		** กวนจนละลายได้ของเหลวใส สีเหลือ										
		1 เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step										
		2 ถ่ายลงช้า ๆ ที่ T <= 47 °C									93.920	

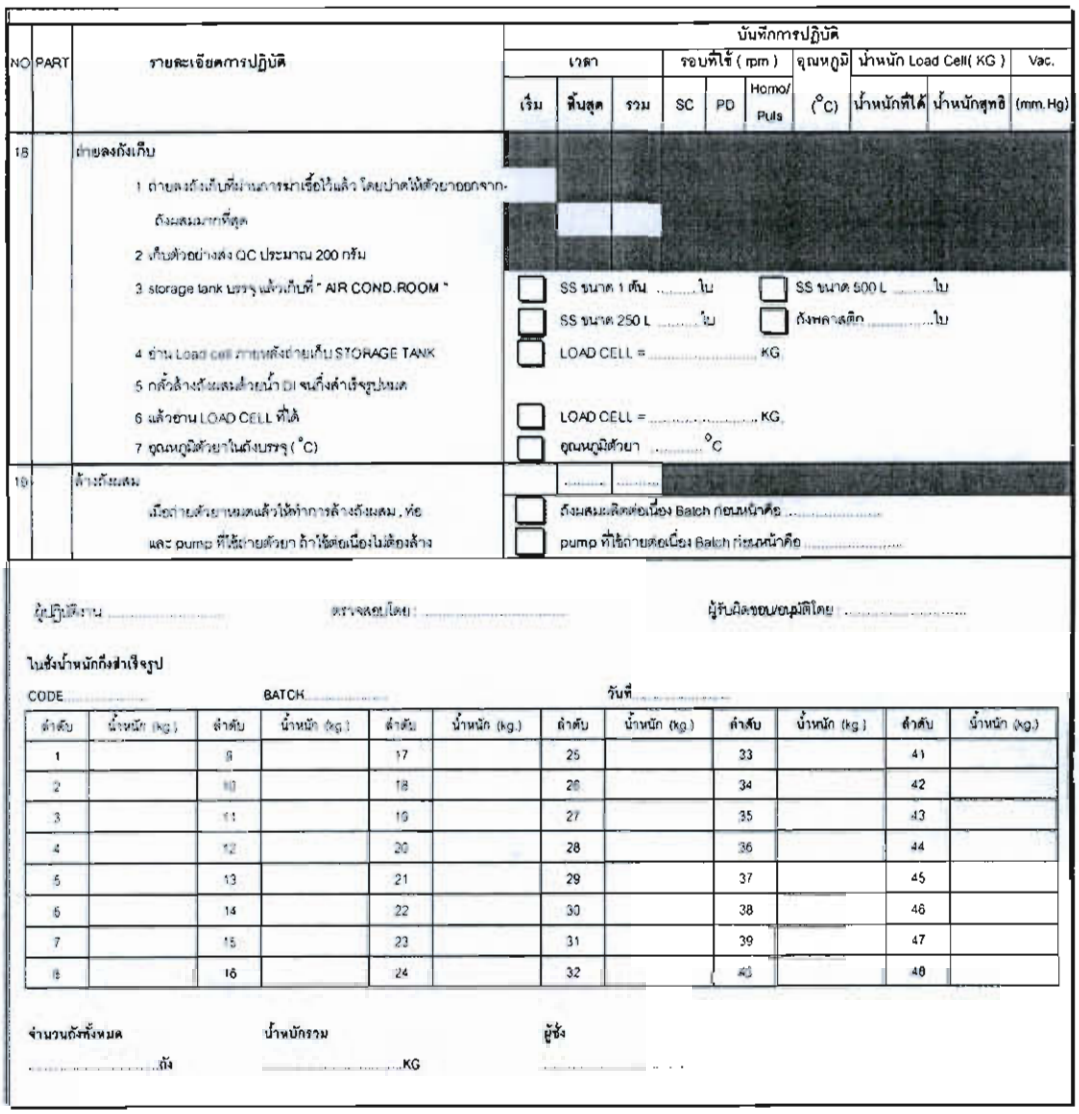
ภาพภาคผนวก ก-1 เอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต (ต่อ)



NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ			บันทึกการปฏิบัติ									
					เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac.
					เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
15	A01	5000001	6.0000	KG** น้ำสำหรับกลั้วล้าง										
	H32	10002562	0.0800	KG										
		TOTAL	6.080	KG										
		1 เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step												
		2 ถ่ายวัตถุดิบที่เตรียมไว้ลง T <= 47 °C กลั้วล้างด้วยน้ำ												
		3 ปั่นต่อ 5 นาที ด้วยรอบใบพัดเดิม												100.000
		4 ลดรอบใบพัดลง ปั่นต่อ 15 นาที												100.000
		เปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step												
16		HOMOGINIZATION												
		1 นำตัวยาไปตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นเทียบกับ STD. ด้านบนด้านและบนล่างใกล้เคียงกัน ให้ถ่ายตัวยาผ่าน Homo Inline ได้												
		1. ค่า pH @ 25 °C = 6.0-7.0						บน = ...				ล่าง = ...		
		2.Initial Visc @ 47 OC = 3000-7000 cps (TE,12)LVDV						บน = ...				ล่าง = ...		
		ถ้าบนล่างไม่เท่ากันให้ปั่นเพิ่ม												100.000
		2 เปิดเปิดใบพัด SC = 5 rpm, PD = 3 step												
		3 อ่าน Load cell ก่อนถ่าย						☐ LOAD CELL = ... KG.						
		(การ Sanitize ถังเก็บและ pump ให้ใช้ F - CMX2-01)												
		4 ผ่านกรอง 150 mesh						☐ กรอง ..... mesh.						
		5 ถ่ายตัวยาผ่าน Homo inline ลงจัดเก็บในถังบรรจุ												100.000
		ใช้ Homoinline SILVERSON												
		6 สุ่มตัวอย่างส่งเช็ค						น้ำหนักตัวยา = ... KG. (A)				เวลาในการถ่าย = ... นาที (B)		
								อัตราเร็วในการถ่ายตัวยา = (A) / (B) = ... kg./นาที						

NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ	บันทึกการปฏิบัติ										
			เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac
			เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
		8 storage tank บรรจุ แล้วเก็บที่ " AIR COND ROOM "	☐ SS ขนาด 1 ตัน . . . .ใบ ☐ SS ขนาด 500 L .....ใบ										
			☐ SS ขนาด 250 L .....ใบ ☐ ถังพลาสติก .....ใบ										
		9 อ่าน Load cell ภายหลังถ่ายเก็บ STORAGE TANK	☐ LOAD CELL = ... KG.										
		10 กลั้วล้างถังผสมด้วยน้ำ DI จนถึงน้ำใสจึงถูปิดมด											
		11 แล้วอ่าน LOAD CELL ที่ได้	☐ LOAD CELL = ... KG.										
		12 อุณหภูมิตัวยาในถังบรรจุ (°C)	☐ อุณหภูมิตัวยา ..... °C										
17		1 เมื่อครบขั้นตอนตามข้อ 16 ปิดใบพัดทุกใบ											
		2 Sensory Test(วัดด้วยขวด 100 กรัม ไม่ centrifuge)											
		ให้ตรวจสอบผลเบื้องต้น ดังนี้											
		1. ค่า pH @ 25 °C = 6.0-7.0	บน = ...						ล่าง = ...				
		2. บันทึกความหนืด	บน = ...						ล่าง = ...				
		Visc @ 25 °C = 15,000 - 35,000cps (TE,12)LVDV											

ภาพภาคผนวก ก-1 เอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต (ต่อ)



NO	PART	รายละเอียดการปฏิบัติ	บันทึกการปฏิบัติ									
			เวลา			รอบที่ใช้ (rpm)			อุณหภูมิ	น้ำหนัก Load Cell(KG)		Vac.
			เริ่ม	สิ้นสุด	รวม	SC	PD	Homo/ Puls	(°C)	น้ำหนักที่ได้	น้ำหนักสุทธิ	(mm.Hg)
15		ถ่ายลงถังเก็บ										
		1 ถ่ายลงถังเก็บที่ผ่านการฆ่าเชื้อไว้แล้ว โดยบ่าดให้ตัวยาออกจาก- ถังผสมมากที่สุด										
		2 เก็บตัวอย่างส่ง QC ประมาณ 200 กรัม										
		3 storage tank บรรจุ แล้วเก็บที่ " AIR COND.ROOM "	☐ SS ขนาด 1 ตัน .....ใบ ☐ SS ขนาด 500 L .....ใบ ☐ SS ขนาด 250 L .....ใบ ☐ ถังพลาสติก .....ใบ									
		4 ชั่ง Load cell ภายหลังถ่ายเก็บ STORAGE TANK	☐ LOAD CELL = ... KG									
		5 กลิ้งล้างถังผสมด้วยน้ำ DI จนถึงสำเร็จรูปหมด										
		6 แล้วชั่ง LOAD CELL ที่ได้	☐ LOAD CELL = ... KG.									
		7 อุณหภูมิตัวยาในถังบรรจุ (°C)	☐ อุณหภูมิตัวยา ..... °C									
16		ล้างถังผสม										
		เมื่อถ่ายตัวยาหมดแล้วให้ทำการล้างถังผสม , ท่อ	☐ ถังผสมผลิตต่อเนื่อง Batch ก่อนหน้าคือ									
		และ pump ที่ใช้ถ่ายตัวยา ถ้าใช้ต่อเนื่องไม่ต้องล้าง	☐ pump ที่ใช้ถ่ายต่อเนื่อง Batch ก่อนหน้าคือ									

ผู้ปฏิบัติงาน ..... ตรวจสอบโดย : ..... ผู้รับผิดชอบ/อนุมัติโดย : .....

ใบชั่งน้ำหนักถึงสำเร็จรูป

CODE..... BATCH..... วันที่.....

ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)	ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)	ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)	ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)	ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)	ลำดับ	น้ำหนัก (kg.)
1		9		17		25		33		41	
2		10		18		26		34		42	
3		11		19		27		35		43	
4		12		20		28		36		44	
5		13		21		29		37		45	
6		14		22		30		38		46	
7		15		23		31		39		47	
8		16		24		32		40		48	

จำนวนถังทั้งหมด ..... ถัง น้ำหนักรวม ..... KG ผู้ชั่ง .....

ภาพภาคผนวก ก-1 เอกสารมาตรฐานการผลิตโลชั่นชนิด A ที่บริษัทรับจ้างผลิต (ต่อ)