


การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด  
สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

รัชกฤษ ธนพัฒน์ดล

คุณูปนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา  
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา  
กันยายน 2561  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมคุณวุฒิบัณฑิตและคณะกรรมการสอบคุณวุฒิบัณฑิต ได้พิจารณา  
คุณวุฒิบัณฑิตของ รัชกฤษ ธนพัฒน์ดล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพา  
ได้

คณะกรรมการควบคุมคุณวุฒิบัณฑิต

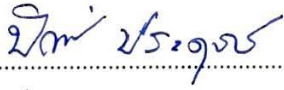
  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เสรี ชัดแจ้ง)

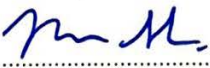
  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร. ปิยะทิพย์ ประดุงพรม)

คณะกรรมการสอบคุณวุฒิบัณฑิต

  
.....ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรศักดิ์ สุรังคพิพรรธน์)


  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เสรี ชัดแจ้ง)

  
.....กรรมการ  
(ดร. ปิยะทิพย์ ประดุงพรม)

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

  
.....กรรมการ  
(ดร. กนก พานทอง)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา อนุมัติให้รับคุณวุฒิบัณฑิตฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของ  
มหาวิทยาลัยบูรพา

  
.....คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กรเพชรปानी) และวิทยาการปัญญา  
วันที่.....22.....เดือน.....กันยายน.....พ.ศ. 2561

## กิตติกรรมประกาศ

ดุชนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี จากความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร. เสรี ชัดแจ้ง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ อาจารย์ ดร. ปิยะทิพย์ ประดุจพรหม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ให้คำแนะนำในการแก้ไข ตลอดจนคอยกระตุ้นและติดตามการดำเนินการวิจัย จนดุชนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ทิพย์ ขำอยู่ และ อาจารย์ ดร. ประพล เปรมทองสุข ที่อนุเคราะห์คลังข้อสอบที่ใช้ในการศึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำเบื้องต้นจนได้แนวทางการศึกษา ในหัวข้อเรื่องนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ดวงเพ็ญ เจตนพิพัฒน์พงษ์ อาจารย์อารียา ศรีประเสริฐ และ อาจารย์ธีรวัช สุขวิทย์ศิริ ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง จนทำให้โปรแกรมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งแม้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัย แต่กำลังใจและคำกระตุ้นที่ได้รับ กลับมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งจนทำให้ดุชนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้

ประโยชน์ที่ได้รับจากดุชนิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่ได้เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนบ่มเพาะความรู้ของผู้วิจัยให้เติบโตขึ้นจนถึงปัจจุบัน

รัชกฤช ธนพัฒน์ดล

56810003: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;

ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)

คำสำคัญ: การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป/ การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์/  
ระบบอานานิคมมด

รัชกฤษ ธนพัฒน์ดล: การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (DEVELOPMENT OF THE NEXT ITEM SELECTION PROCEDURE USING ANT COLONY SYSTEM FOR COMPUTERIZED ADAPTIVE TESTING) คณะกรรมการควบคุมคุรุณีพนธ์: เสรี ชัดเข้ม, ค.ด., ปิยะทิพย์ ประดุงพรม, Ph.D., 253 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทดสอบ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี คือ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (วิธี MIC) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ (วิธี HC-Ex) และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด (วิธี ACS) ในด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ด้านความยาวของแบบทดสอบ และด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 3) พัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด และ 4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2561 จำนวน 30 คน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ผลการวิจัยปรากฏว่า 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมดมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ (1) จัดกลุ่มข้อสอบในคลังตามค่าความยากของข้อสอบออกเป็น 5 ระดับ และเลือกข้อสอบข้อถัดไปตามกฎการเลือกข้อสอบเพื่อจัดเรียงบนโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม (2) ออกแบบกระบวนการของวิธีอานานิคมมด โดยการจำลองผลการตอบข้อสอบเพื่อวัดความเหมาะสมของการเลือกข้อสอบข้อถัดไป และ (3) เชื่อมโยงกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ให้สัมพันธ์กับวิธีระบบอานานิคมมด 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธี ACS มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี MIC และวิธี HC-Ex ในด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ และด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในขณะที่วิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพในด้านความยาวของแบบทดสอบสูงสุด 3) โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในภาพรวมมีความเหมาะสมในการใช้งานระดับมากที่สุด และ 4) ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

56810003: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;  
Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE)  
KEYWORDS: NEXT ITEM SELECTION/ COMPUTERIZED ADAPTIVE TESTING/  
ANT COLONY SYSTEM

RATCHAKRIT TANAPATTANADOL: DEVELOPMENT OF THE NEXT ITEM  
SELECTION PROCEDURE USING ANT COLONY SYSTEM FOR COMPUTERIZED ADAPTIVE  
TESTING. ADVISORY COMMITTEE: SEREE CHADCHAM, Ph.D., PIYATHIP PRADUJPROM,  
Ph.D. 253 P. 2018.

Next item selection is the central point of computerized adaptive testing because it affects the efficiency of testing. This research aimed to 1) develop the next item selection procedure using Ant Colony System (ACS), 2) compare the efficiency among three methods of next item selection: the Maximum Information Criterion (MIC), the Hurwicz Criterion with the item exposure control (HC-Ex), and a procedure using ACS by examining the ability estimation of examinees, the test length, and the number of items with an item exposure rate greater than 0.20, 3) develop a computerized adaptive testing program that used ACS, and 4) study the relation between ability estimation of examinees (from computerized adaptive testing using ACS) and the total score of the examinees (from computerized testing). The sample involved 30 undergraduate students in the academic year 2018. Pearson's product-moment correlation coefficients were used to analyze the data.

The results showed that 1) The next item selection using ACS has three steps: first, classifying items in the item bank with difficulty parameters into five levels, and selecting the next item with item selection rules for arrangement on Triangle Decision Tree (TDT), second, designing the ACS process by simulation of test results in order to measure the next item selection suitability, and third, incorporating the computerized adaptive testing process related to ACS. 2) The next item selection using ACS was more efficient than MIC and HC-Ex in the ability estimation of examinees, and superior to the method based on the number of items with an item exposure rate greater than 0.20 with a .01 level of significance. While HC-EX was the most efficient in the test length. 3) The computerized adaptive testing program was the most suitable in terms of usability. 4) Ability estimation of examinees from computerized adaptive testing and total score of the examinees (from computerized testing) were positively correlated at the .01 level of significance.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานของการวิจัย.....	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	8
ขอบเขตของการวิจัย.....	9
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	10
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
ตอนที่ 1 การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
ตอนที่ 2 วิธีระบบอาณานิคมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	47
ตอนที่ 3 การศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล .....	63
3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	66
ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม.....	67
ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป.....	82
ระยะที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมสำหรับการ การทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี.....	85
ระยะที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้ จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมกับคะแนนรวมของผู้สอบ ที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์.....	103
4 ผลการวิจัย.....	107
ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม..	108
ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป.....	117
ตอนที่ 3 ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธี การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม.....	126

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ตอนที่ 4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์.....	154
5 สรุปผลและอภิปรายผล.....	157
สรุปผลการวิจัย.....	157
อภิปรายผล.....	159
ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้.....	165
ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป.....	165
บรรณานุกรม .....	166
ภาคผนวก .....	171
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	172
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ .....	174
ภาคผนวก ค คลังข้อสอบจำลองที่ใช้ในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ .....	201
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมสำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี .....	215
ภาคผนวก จ แบบประเมินโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม โดยผู้เชี่ยวชาญ.....	245
ภาคผนวก ฉ แบบประเมินโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม โดยผู้ใช้งาน .....	250
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	253

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	ค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีระบบอานานิคมมด..... 58
3-1	การเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการคัดเลือกข้อสอบแบบเดิมกับวิธีระบบ อานานิคมมด..... 82
3-2	สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระแสข้อมูล..... 87
3-3	เพิ่มข้อมูลข้อสอบ..... 92
3-4	เพิ่มข้อมูลรายการคำตอบ..... 93
3-5	เพิ่มข้อมูลผู้สอบ..... 93
3-6	เพิ่มข้อมูลการทดสอบ..... 93
3-7	เพิ่มข้อมูลสาขาวิชา..... 94
3-8	เพิ่มข้อมูลคณะวิชา..... 94
3-9	เพิ่มข้อมูลข้อสอบการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์..... 94
3-10	ลำดับการทดสอบ..... 106
4-1	ค่าสถิติพื้นฐานของค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในคลังข้อสอบจำลอง..... 109
4-2	ค่าสถิติพื้นฐานของค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ..... 109
4-3	ค่าสถิติพื้นฐานของการจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบจำลอง..... 111
4-4	ผลค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากการทดลอง ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... 112
4-5	ผลค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ เกี่ยวข้อง..... 113
4-6	ผลความยาวของแบบทดสอบ จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... 114
4-7	ผลจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จากการทดลองปรับเปลี่ยน ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... 115
4-8	ผลสรุปค่าเฉลี่ย RMSE, Average Bias และ Median จากการทดลองปรับเปลี่ยน ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... 116
4-9	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความลำเอียงเฉลี่ย ของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป..... 118
4-10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป..... 119
4-11	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป..... 119
4-12	ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป..... 119



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความลำเอียงเฉลี่ยจำแนกตามวิธีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไป.....	120
4-14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความลำเอียงเฉลี่ยจำแนกตามวิธีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไป.....	120
4-15 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่าความลำเอียงเฉลี่ยจำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบ ข้อถัดไป.....	121
4-16 ค่าสถิติพื้นฐานความยาวของแบบทดสอบจำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อ ถัดไป.....	122
4-17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความยาวของแบบทดสอบจำแนกตามวิธีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไป.....	122
4-18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของความยาวของแบบทดสอบจำแนกตามวิธีการ คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่.....	123
4-19 จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบ ข้อถัดไป.....	124
4-20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป.....	124
4-21 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบ มากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่.....	125
4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบ แบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์.....	125
4-23 เกณฑ์ประเมินระดับความสามารถของผู้สอบสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วย คอมพิวเตอร์.....	146
4-24 เกณฑ์เทียบระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์.....	149
4-25 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	150
4-26 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านการทำงานของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	150
4-27 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านการใช้งานของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	151
4-28 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรมโดย ผู้เชี่ยวชาญ.....	151
4-29 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรมโดย ผู้เชี่ยวชาญ.....	152
4-30 ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านความสะดวกในการใช้โปรแกรมโดย ผู้ใช้งาน.....	153

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-31	ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรมโดย ผู้ใช้งาน.....	153
4-32	ความยาวของแบบทดสอบ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบที่ได้ จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์.....	154
4-33	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ กับคะแนนรวมของผู้สอบ.....	156

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดในการวิจัยเรื่องวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม มดสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์.....	7
2-1	ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์	17
2-2	โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 1 พารามิเตอร์.....	26
2-3	โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 2 พารามิเตอร์.....	27
2-4	โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์.....	28
2-5	Decision Item Tree Network.....	39
2-6	CAT Based on Decision Item Subtree.....	39
2-7	ภาพรวมของกระบวนการทำเหมืองข้อมูลเพื่อจัดเตรียมกลุ่มข้อสอบให้ผู้ทดสอบ.....	40
2-8	ขั้นตอนหลักการทำกระบวนการทำเหมืองข้อมูล.....	41
2-9	ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์.....	42
2-10	ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีระบบ Web Service.....	42
2-11	การแปลงโครโมโซมให้อยู่ในรูปแบบของ TDT.....	43
2-12	ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์.....	44
2-13	กรอบแนวคิดของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการสะท้อน ข้อมูลย้อนกลับ.....	45
2-14	ขั้นตอนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการสะท้อน ข้อมูลย้อนกลับ.....	46
2-15	ธรรมชาติการเดินทางของมดโดยใช้เส้นทางที่สั้น.....	48
2-16	ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมมด.....	49
2-17	ตัวอย่างปัญหา TSP.....	50
2-18	กราฟของปัญหา TSP จำนวน 6 เมือง.....	52
2-19	แบบจำลองเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุด.....	59
2-20	การหาเส้นทางการขนส่งของรถกระบะ.....	59
2-21	ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมในการแก้ปัญหาการระบุเส้นทางรถยนต์.....	60
2-22	ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการจำกัดขอบเขตการเติบโตของ เมือง.....	61
2-23	กรอบการดำเนินงานของระบบการเลือกลักษณะจากภาพด้วยวิธี ACS.....	62
3-1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	67
3-2	ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มข้อสอบด้วยวิธี K-Means Clustering .....	68
3-3	การจัดชุดข้อสอบบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม.....	70

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-4	71
3-5	72
3-6	75
3-7	75
3-8	77
3-9	79
3-10	81
3-11	84
3-12	86
3-13	88
3-14	89
3-15	90
3-16	91
3-17	95
3-18	95
3-19	96
3-20	96
3-21	97
3-22	97
3-23	98

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-24	98
3-25	99
3-26	99
3-27	100
3-28	100
3-29	101
3-30	104
4-1	108
4-2	110
4-3	127
4-4	128
4-5	128
4-6	129
4-7	129
4-8	130
4-9	131
4-10	132
4-11	133
4-12	133
4-13	134
4-14	135

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-15	หน้าโปรแกรมการเพิ่มข้อมูลข้อสอบ.....	135
4-16	หน้าโปรแกรมการจัดแบบทดสอบ.....	136
4-17	หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบ.....	137
4-18	หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบจากคลังข้อสอบ.....	137
4-19	หน้าโปรแกรมแสดงรายละเอียดข้อมูลข้อสอบรายข้อจากคลังข้อสอบตาม เงื่อนไขที่เลือก.....	138
4-20	หน้าโปรแกรมรายละเอียดการสร้างแบบทดสอบ.....	138
4-21	หน้าโปรแกรมแสดงรายการแบบทดสอบทั้งหมดที่สร้างสำเร็จ.....	139
4-22	หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบ.....	140
4-23	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	141
4-24	รายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	142
4-25	การพิมพ์ผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	142
4-26	หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการ คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอนุมานคัมมดสำหรับผู้สอบ.....	143
4-27	หน้าโปรแกรมเมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ.....	143
4-28	หน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ.....	144
4-29	หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	144
4-30	หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	145
4-31	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	145
4-32	การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	146
4-33	หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CT.....	147
4-34	หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CT.....	147
4-35	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CT.....	148
4-36	การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CT.....	149

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเลือกข้อสอบนับว่าเป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Phankokkruad & Woraratpanya, 2012) โดยมีจุดมุ่งหมายของการเลือกข้อสอบเพื่อให้ความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบมากที่สุด รวมถึงรักษาความปลอดภัยของข้อสอบ หากใช้วิธีในการเลือกข้อสอบที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะส่งผลให้ได้ข้อสอบที่ใช้ทดสอบไม่เหมาะกับระดับความสามารถของผู้สอบอย่างแท้จริงเกิดความคลาดเคลื่อนของความสามารถของผู้สอบสูงทำให้ใช้จำนวนข้อสอบและเวลาในการทดสอบมากขึ้น (Reckase, 2009, p. 311) นอกจากนี้ยังส่งผลในเรื่องของการเลือกข้อสอบมาใช้ทดสอบซ้ำมากเกินไปและข้อสอบในคลังข้อสอบไม่ถูกเลือกมาใช้ทดสอบ เหตุการณ์ดังกล่าวย่อมเป็นอุปสรรคต่อการประมาณค่าระดับความสามารถของผู้สอบให้ตรงกับความเป็นจริง ดังนั้นประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบจึงส่งผลในลักษณะแปรผันโดยตรงกับประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังกล่าวจะดำเนินการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการคัดเลือกข้อสอบให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคนโดยอาศัยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT) มาใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณค่าสารสนเทศในรูปแบบต่างๆของข้อสอบ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ถ้าหากผู้สอบทำข้อสอบข้อที่ผ่านมากฎต้องคอมพิวเตอร์จะต้องเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ยากขึ้น แต่ถ้าหากผู้สอบทำข้อสอบข้อที่ผ่านมากฎคอมพิวเตอร์จะต้องเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ง่ายลง

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วยองค์ความรู้ 2 ด้าน คือ ทฤษฎีการวัดผลการศึกษาและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิธีดำเนินการจัดการการทดสอบจะคัดเลือกข้อสอบจากคลังข้อสอบให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการตอบข้อสอบข้อที่ผ่านมาของผู้สอบส่งผลให้ผู้สอบแต่ละคนได้ข้อสอบที่แตกต่างกันและจำนวนข้อสอบที่ไม่เท่ากัน ซึ่งประเภทของการทดสอบสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทตามยุทธวิธีที่ใช้ในการเลือกข้อสอบคือยุทธวิธีสองขั้นตอน (Two-Stage Strategies) และยุทธวิธีหลายขั้นตอน (Multi-Stage Strategies) โดยยุทธวิธีหลายขั้นตอนดังกล่าวยังสามารถแบ่งได้เป็นยุทธวิธีหลายขั้นตอนแบบทางแยกคงที่ (Fixed-Branching) กับยุทธวิธีหลายขั้นตอนแบบทางแยกผันแปร (Variable Branching) อีกด้วย การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบเป็นการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากประหยัดเวลา ลดจำนวนข้อสอบลงได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของการทดสอบลดลง แต่กลับมีแนวโน้มที่จะเพิ่มคุณภาพของการวัดให้สูงขึ้น ทั้งในด้านความเที่ยง (Reliability) และความตรง (Validity)

วิธีการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนคือ 1) การสร้างคลังข้อสอบ (Create Item Bank) 2) การคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้น (First Item Selection) เป็นขั้นตอนที่ต้องพิจารณาคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมกับผู้สอบ

โดยทั่วไป จากงานวิจัยพบว่าการคัดเลือกข้อสอบข้อแรกไม่ค่อยมีความสำคัญหรือมีผลต่อการทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบ (Lord, 1977, p. 117) โดยทั่วไปจะใช้ข้อสอบที่มีความยากระดับปานกลางเป็นข้อสอบข้อเริ่มต้น 3) การเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Next Item Selection) เป็นขั้นตอนที่ต้องพิจารณาคัดเลือกข้อสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยอาศัยผลการตอบข้อสอบข้อก่อนหน้ามาร่วมพิจารณาด้วย 4) การประมาณค่าความสามารถของข้อสอบ (Calculate Possible Ability Levels) เป็นการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบหลังจากตอบข้อสอบแล้ว ซึ่งวิธีการประมาณค่าดังกล่าวที่นิยมใช้กันคือ Maximum Likelihood Estimation, Bayesian Estimation และ Bayesian Updating Estimation และ 5) เกณฑ์การยุติการทดสอบ (Termination Criterion) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จะสิ้นสุดลงเมื่อผลการตอบข้อสอบข้อที่ผ่านมาเป็นไปตามเกณฑ์ยุติการทดสอบ เกณฑ์ยุติการทดสอบอาจเป็นจำนวนข้อสอบที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เวลาที่ใช้ในการทดสอบคะแนนจุดตัดแยกระดับความสามารถของกลุ่มผู้สอบ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ เป็นต้น (Reckase, 2009, pp. 311-313)

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้นถึงความสำคัญของวิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จึงมีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่นิยมใช้กันเป็นมาตรฐานในการเลือกข้อสอบอยู่หลายวิธีได้แก่ 1) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ค่าความยากของข้อสอบ ( $b$ -Parameter) ใกล้เคียงกับความสามารถของผู้สอบ 2) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด (Maximum Information Criterion: MI) เป็นการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่น่าปัจจัยของการเดาข้อสอบมาพิจารณาร่วมกับค่าความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) ขณะนั้น ซึ่งจะคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าสารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบมาเป็นข้อสอบข้อถัดไป (Birnbbaum, 1968)

ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกข้อสอบสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์อยู่จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มของงานวิจัยตามลักษณะของกระบวนการออกแบบการคัดเลือกข้อสอบได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 สร้างสมการเพื่อใช้ในการคัดเลือกข้อสอบ (Deterministic) หรือสร้างสมการในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการเลือกข้อสอบ (Stochastic) งานวิจัยในกลุ่มนี้จะหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผลข้อสอบอยู่ในรูปแบบของสมการจากนั้นจะนำสมการที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยพิจารณาจากผลลัพธ์ของสมการที่ได้ เช่น การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศคูลเบค-ไลเบลเลอร์ (Kullback-Leibler Information: KL) (Chang & Ying, 2008) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศคูล-ไลเบอร์ที่มีการแจกแจงภายหลัง (Kullback-Leibler Information with a Posterior Distribution: KLP) (Veldkamp & Van der Linden, 2009) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ประสิทธิภาพของสารสนเทศ (Efficiency Balanced Information: EBI) (Han, 2010) และ การเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธี Variable-length Item Selection (Koedsri & Lawthong, 2014) เป็นต้น

ข้อจำกัดของวิธีการเลือกข้อสอบในกลุ่มดังกล่าวพบว่า สมการที่สร้างขึ้นมาใช้เลือกข้อสอบไม่ได้สร้างขึ้นจากปัญหานั้น ๆ โดยตรงอาจส่งผลให้สมการไม่สอดคล้องหรือไม่เหมาะสมกับบางปัญหานอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังขาดความยืดหยุ่นต่อปัญหาในมุมมองของการเลือกข้อสอบเนื่องจากวิธีการได้ระบุ



ทิศทางการค้นหาคำตอบไว้ตายตัว กระบวนการไม่มีโอกาสค้นหาคำตอบใหม่ ๆ ทำให้เสียโอกาสที่จะพบคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมกว่า ส่งผลให้เกิดปัญหาอัตราการใช้ข้อสอบซ้ำหรือถูกใช้บ่อยเกินไป และปัญหาข้อสอบไม่ถูกใช้งานเลยมีสูง ข้อสอบที่ถูกใช้มากเกินไปทำให้ผู้สอบเกิดการเรียนรู้หรือข้อสอบเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในกลุ่มผู้สอบ เสี่ยงต่อความปลอดภัยของข้อสอบและสูญเสียคุณสมบัติทางจิตวิทยาการทดสอบจากความเที่ยงตรงของข้อสอบลดลง ดังนั้นต้องพิจารณาหาวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วย อาทิเช่น (Chen & Lei, 2005) ได้นำเสนอให้นำวิธีการของ (Sympson & Hetter, 1985) ซึ่งสามารถควบคุมการเลือกข้อสอบซ้ำในระดับของข้อสอบแต่ละข้อและระดับของแบบทดสอบได้ในเวลาเดียวกันมาประยุกต์ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ผลวิจัยปรากฏว่า การควบคุมอัตราการใช้ข้อสอบซ้ำ (Item Exposure Rate) สามารถทำให้การทดสอบมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบมากยิ่งขึ้นเมื่อดัชนีการคาบเกี่ยวกับระหว่างข้อสอบสูงสุดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสามารถคัดเลือกข้อสอบมาใช้ซ้ำกันในอัตราส่วนที่กำหนด เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกข้อสอบในกลุ่มที่ 2 คือ การจัดหมวดหมู่ข้อสอบโดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Item Classification) วิธีการในกลุ่มนี้จะเป็นการใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในการจัดหมวดหมู่ข้อสอบให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดเช่น ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้แก่ Bayesian Networks (Yu Hsieh & Chen Kuo, 2010), Genetic Algorithms (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012) และ Fuzzy Inference (Karahora & Ince, 2009) อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่าง ๆ ในแต่ละกลุ่มดังกล่าวนั้นล้วนแล้วแต่มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการเพื่อคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีความเหมาะสมที่สุดกับระดับความสามารถของผู้สอบ พร้อมทั้งควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสมและยอมรับได้ ซึ่งข้อดีของวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (AI) คือกระบวนการยืดหยุ่นกับปัญหามากกว่า เนื่องจากกระบวนการปล่อยโอกาสให้ระบบสามารถคิดวิเคราะห์ค้นหาคำตอบได้หลายรูปแบบแล้วจึงตัดสินใจเลือกคำตอบรูปแบบที่ดีที่สุด

จากการพิจารณาวิธีการคัดเลือกข้อสอบทั้ง 2 กลุ่มที่ผ่านมาพบว่า วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เป็นวิธีที่มีกระบวนการออกแบบให้ระบบสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้เองอย่างอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ได้อย่างครอบคลุม ซึ่งวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมดังกล่าวโดยส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ประเภทเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ซึ่งมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น (Blum & Roli, 2003) วิธีการทางด้านเมตาฮิวริสติกดังกล่าวมีอยู่หลากหลาย แต่ละวิธีจะมีจุดดีและจุดด้อยที่แตกต่างกันเช่น บางวิธีให้ผลดี แต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน บางวิธีรวดเร็ว แต่ให้ผลที่แย่กว่าวิธีอื่น ๆ เป็นต้น วิธีเมตาฮิวริสติกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือแบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System)

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) แบบที่ไม่ได้เกิดแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) และวิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search)

ปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้น สามารถมองรูปแบบปัญหาอยู่ในลักษณะของการค้นหากลุ่มข้อสอบที่ตรงกับความสามารถหรือมีความเหมาะสมกับผู้สอบเพื่อให้ผู้สอบได้ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นวิธีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในกลุ่มดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ประกอบกับวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในกลุ่มของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ประเภทเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ซึ่งถูกนำเสนอโดย (Dorigo et al., 1997) เป็นวิธีที่ได้แนวคิดมาจากพื้นฐานของการค้นหาแหล่งอาหารของฝูงมดในธรรมชาติ โดยมดทุกตัวในฝูงจะร่วมมือกันค้นหาแหล่งอาหาร และพยายามค้นหาเส้นทางจากรังไปยังแหล่งอาหารให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด การค้นหาเส้นทางนั้นมดใช้สารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เป็นข้อมูลในการหาเส้นทางทั้งขาไปและขากลับรัง โดยมดจะพ่นฟีโรโมนลงบนเส้นทางที่ผ่านเพื่อเป็นข้อมูลให้มดตัวอื่น ๆ เดินตามและมดที่เดินตามก็จะวางฟีโรโมนทับลงไปอีกฟีโรโมนในเส้นทางใดมีค่ามากก็จะมีจำนวนมดผ่านมากและเส้นทางจะมีความสั้นกว่าเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนน้อย จนกระทั่งสุดท้ายเส้นทางที่มีมดเลือกเดินมากที่สุดคือเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด เนื่องจากวิธีอาณานิคมมดมีกระบวนการปรับปรุงการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดอยู่หลายวิธี แต่จากการศึกษาของ (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 91) พบว่า วิธี Ant Colony System (ACS) สามารถหาคำตอบที่ดีโดยใช้เวลาการคำนวณต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากกระบวนการค้นหาคำตอบเปิดโอกาสให้ค้นพบคำตอบใหม่ ๆ โดยเก็บคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละรอบการค้นหาไว้

จากหลักการของวิธีอาณานิคมมดที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกข้อสอบคือต้องการค้นหาข้อสอบที่ใกล้เคียงกับความสามารถของผู้สอบมากที่สุด เปรียบเทียบได้กับระยะทางที่สั้นที่สุดจากรังมดไปสู่แหล่งอาหารนั่นเอง ดังนั้นหากนำวิธีระบบอาณานิคมมดมาออกแบบประยุกต์กับการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์อาจส่งผลให้การเลือกข้อสอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากความสำคัญของปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในแนวทางใหม่โดยใช้วิธีที่ยังไม่เคยมีผู้พัฒนามาก่อน ประกอบกับวิธีระบบอาณานิคมมดเป็นวิธีที่มีคุณสมบัติในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังไม่พบว่ามีงานวิจัยใดได้นำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีระบบอาณานิคมมดได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการประยุกต์กับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของการเดินทาง (Traveling Salesman Problem: TPS) (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 65) การที่จะนำวิธีระบบอาณานิคมมดดังกล่าวมาประยุกต์กับการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้นั้นมิใช่เรื่องที่จะสามารถ

นำไปใช้งานได้ทันที จะต้องศึกษา วิเคราะห์ สังเคราะห์ และออกแบบเงื่อนไขกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้วิธีดังกล่าวสามารถเลือกข้อสอบให้กับผู้เข้าสอบได้อย่างเหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เพื่อให้เห็นภาพและแนวทางของการนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดที่นำเสนอไปใช้งานในงานวิจัยอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงดำเนินการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี และนำไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Adaptive Testing: CAT) ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Testing: CT)

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี คือ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และ 3) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้าน 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ 2) ความยาวของแบบทดสอบ และ 3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20
3. เพื่อพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ระดับปริญญาตรี
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ในกระบวนการพัฒนาจะใช้อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดทำการจัดเรียงข้อสอบแบบอัตโนมัติอยู่ในรูปแบบโครงสร้างของสามเหลี่ยมต้นไม้ตัดสินใจ (Triangle Decision Tree: TDT) ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ การจัดเรียงข้อสอบในรูปแบบดังกล่าวจะต้องจัดเรียงอยู่ภายใต้กฎหลัก 2 กรณีคือ 1) กรณีที่โหนดอยู่ต่างชั้นกันจะกำหนดให้โหนดที่อยู่ทางซ้าย

ในระดับที่ต่ำกว่าจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ ความยากของข้อสอบ (b) ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) และค่าการเดาของข้อสอบ (c) น้อยกว่า ในทางตรงกันข้ามคุณุโทษดที่อยู่ทางขวาในระดับที่ต่ำกว่าจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ทั้งสามดังกล่าวสูงกว่า และ 2) กรณีที่โทษดอยู่ในระดับชั้นเดียวกันโทษดที่อยู่ทางขวามีค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ของข้อสอบมากกว่าโทษดที่อยู่ทางซ้าย

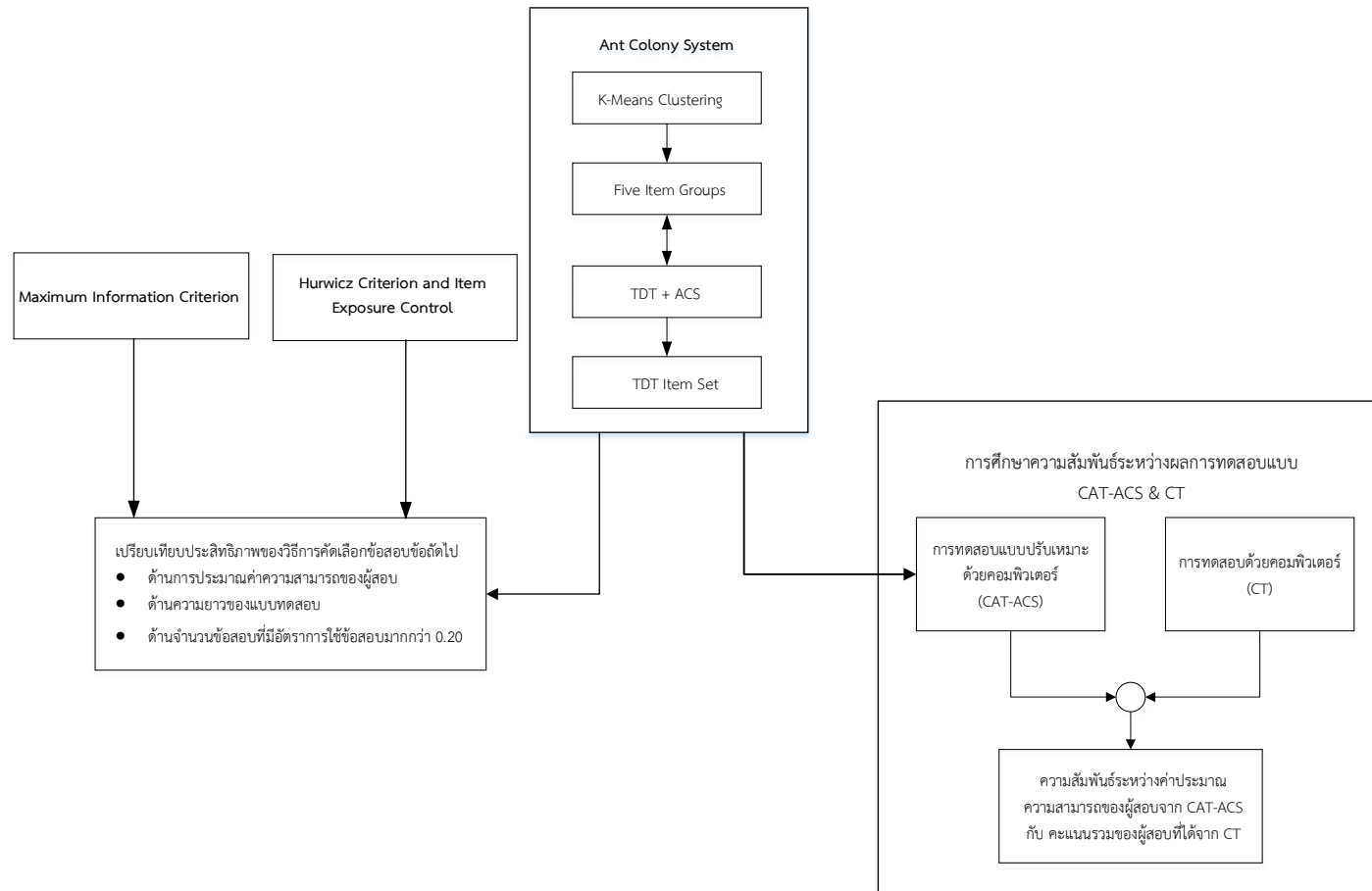
การจัดวางตำแหน่งข้อสอบแต่ละข้อของแต่ละชุดข้อสอบบนผังต้นไม้ตัดสินใจรูปสามเหลี่ยมแต่ละผังจะมีข้อสอบสูงสุดจำนวน 21 ข้อ เนื่องจากผังต้นไม้รูปสามเหลี่ยมในรูปแบบมาตรฐานประกอบไปด้วยจำนวนโทษดทั้งหมด 21 โทษด และมีระดับของผังต้นไม้เท่ากับ 6 ระดับ (Phankokkruad & Woraratpanya, 2012) ดังนั้นแต่ละผังต้นไม้ตัดสินใจจะประกอบไปด้วยจำนวนข้อสอบที่ผู้สอบสามารถทำได้สูงสุดไม่เกิน 6 ข้อ นั้นหมายความว่าต้องใช้ข้อสอบในการจัดวางทั้งหมด 21 ข้อ

การแบ่งกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบจะแบ่งตามค่าความยากของข้อสอบเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) (Karahora & Ince, 2009) ซึ่งในการแบ่งกลุ่มข้อสอบดังกล่าวผู้วิจัยได้นำเทคนิคทางด้านเหมืองข้อมูล (Data Mining Techniques) นั่นคือเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means Clustering

ข้อสอบที่ใช้ในการทำวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 คือข้อสอบที่จำลองค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Han, 2007) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และส่วนที่ 2 คือข้อสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรีที่ผ่านการวิเคราะห์คุณภาพข้อสอบโดยใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบมาแล้ว ซึ่งข้อสอบที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยทั้งสองส่วนดังกล่าวนี้ต้องมีค่าความยากของข้อสอบ (b) ตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) ตั้งแต่ 0.50 ถึง 2.50 และค่าการเดาของข้อสอบ (c) ไม่เกิน 0.30

เมื่อได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากวิธีการที่นำเสนอแล้ว จะนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปกับวิธีการใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุดที่ (Maximum Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการเลือกข้อสอบ (Linden & Glas, 2010, pp. 11) และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ (ประพลเปรมทองสุข, เสรี ชัดเข้ม และปิยะทิพย์ ประดุจพรม, 2560) ทางด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ความยาวของแบบทดสอบ และจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ต่อไปตามลำดับ

จากนั้นนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด ไปพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับการสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี และนำไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเขียนเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ตามภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัยเรื่องวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

## สมมติฐานของการวิจัย

1. ด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ แบ่งได้ 2 ข้อ ดังนี้
  - 1.1 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต มีค่าน้อยกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ
  - 1.2 ค่าความลำเอียงเฉลี่ยของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต มีค่าน้อยกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ
2. ด้านความยาวของแบบทดสอบของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต มีจำนวนน้อยกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ
3. ด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต มีจำนวนน้อยกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ
4. ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต มีความสัมพันธ์ทางบวกกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่สามารถลดจำนวนข้อสอบและเวลาที่ใช้ทดสอบลงแต่ยังคงประสิทธิภาพของการทดสอบที่สามารถประเมินระดับความสามารถของผู้สอบได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นนักวิจัยที่ทำวิจัยเกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สามารถนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปตามวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบเรื่องต่าง ๆ ได้
2. ได้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมตสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ระดับปริญญาตรี
3. โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถนำไปใช้ทดสอบความรู้ทางการศึกษาในรายวิชาใดก็ได้ เพียงแต่ข้อสอบที่ใช้ทดสอบต้องมีลักษณะการตรวจให้คะแนน 2 ค่า คือ ถูก-ผิด หรือ 0-1 และมีรายการคำตอบอย่างน้อย 4 รายการ
4. ได้แนวทางการนำโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต ไปใช้เป็นเครื่องมือในการทำวิจัยต่อไป

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี คือ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และ 3) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ ในด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ความยาวของแบบทดสอบ และจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี รวมทั้งนำไปโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นดังกล่าว ไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

### 1. ด้านโปรแกรม ที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 4 โปรแกรม ได้แก่

1.1 โปรแกรม RapidMiner Studio เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคของดาต้า ไม่นิ่ง จึงนำมาใช้ในการจัดกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบตามค่าความยากของข้อสอบด้วยวิธี K-Means Clustering ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการของการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

1.2 โปรแกรม MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง ที่มีโครงสร้างของภาษาที่ไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย และมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และสถิติให้เลือกใช้ค่อนข้างครบถ้วน โปรแกรม MATLAB ได้นำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Study) ซึ่งเป็นการศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง ผลการศึกษาสามารถนำไปอ้างอิงกับการศึกษาในสถานการณ์จริงได้ (Harwell, Stone, Hsu, & Kirisci, 1996) ในที่นี้ จะเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองสถานการณ์การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดและใช้ทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบที่พัฒนาขึ้นดังกล่าว ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และข้อที่ 2

1.3 โปรแกรม Microsoft Visual Studio เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนา Web Application รองรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PHP จึงนำมาใช้เขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 และข้อที่ 4

1.4 โปรแกรม WinGen3 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้จำลองค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) และค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Han, 2007) ข้อมูลที่จำลองด้วยโปรแกรม WinGen3 นี้จะใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการเขียนโปรแกรม MATLAB สำหรับจำลองสถานการณ์การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่จำลองขึ้นมี 2 ส่วน ได้แก่

1.4.1 ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) สร้างขึ้นโดยการสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 โดยจะสุ่มค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบทั้งหมด 10,000 ค่า แบ่งเป็นชุด ๆ ละ 1,000 ค่า

1.4.2 ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์ โดยจะจำลองข้อสอบทั้งหมด 500 ข้อ ซึ่งกำหนดการสุ่มพารามิเตอร์แต่ละตัว ดังต่อไปนี้

ก. ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discrimination Power Parameter: a) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 2.50

ข. ค่าความยากของข้อสอบ (Difficulty Parameter: b) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าอยู่ในช่วง -2.50 ถึง 2.50

ค. ค่าการเดาของข้อสอบ (Guess Parameter: c) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าไม่เกิน 0.30

2. ด้านประชากร ที่ใช้ในการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 4 คือ นักศึกษา ชั้นปีที่ 3 คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย จำนวน 30 คน

3. ด้านตัวแปร ที่ใช้ในการวิจัยแบ่งตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ตัวแปรตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 2

ตัวแปรอิสระ เป็น วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ 3 วิธีดังนี้

1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด

2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด

3) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวิคซ์และการควบคุมการใช้

ข้อสอบ

ตัวแปรตาม เป็น ประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ มี 3 ด้าน ได้แก่

1) ด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบพิจารณาจากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) (หน่วยวัดเป็นคะแนนมาตรฐาน) และค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) (หน่วยวัดเป็นคะแนนมาตรฐาน)

2) ด้านความยาวของแบบทดสอบ (หน่วยวัดเป็นจำนวนข้อ)

3) ด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 (หน่วยวัดเป็นจำนวนข้อ)

ส่วนที่ 2 ตัวแปรตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 4 มี 2 ตัวแปร ได้แก่

1) ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (หน่วยวัดเป็นคะแนนมาตรฐาน)

2) คะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (หน่วยวัดเป็นคะแนนดิบ)

### นิยามศัพท์เฉพาะ

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Adaptive Testing) หมายถึง การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบให้มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ



การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Testing: CT) หมายถึง การทดสอบที่นำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการทดสอบแทนการทดสอบบนกระดาษดินสอ ผู้สอบทุกคนจะได้รับแบบทดสอบชุดเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยข้อสอบจำนวนหนึ่งที่ผ่านกระบวนการสร้าง และคัดเลือกตามเกณฑ์คุณภาพที่กำหนดไว้แล้ว ผลการทดสอบจะนับจากจำนวนข้อสอบที่ผู้สอบตอบถูก

ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory) หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบมีลักษณะเป็นโค้งแบบ Logistic

ค่าความยากของข้อสอบ (Difficulty Parameter:  $b$ ) หมายถึง ค่าที่แสดงถึงระดับความสามารถของผู้สอบที่จุดเปลี่ยนโค้งของโค้งคุณลักษณะของข้อสอบ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $-\infty$  ถึง  $+\infty$  แต่ในทางปฏิบัติค่าความยากของข้อสอบมีค่าตั้งแต่  $-2.50$  ถึง  $2.50$  โดยข้อสอบที่มีค่าความยากของข้อสอบเท่ากับ  $-2.50$  แสดงว่า ข้อสอบง่ายมาก และข้อสอบที่มีค่าความยากของข้อสอบเท่ากับ  $2.50$  แสดงว่า ข้อสอบยากมาก

ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discrimination Power Parameter:  $a$ ) หมายถึง ค่าที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความชันของโค้งคุณลักษณะของข้อสอบ ณ จุดเปลี่ยนโค้ง มีค่าระหว่าง  $-\infty$  ถึง  $+\infty$  สำหรับค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบที่เป็นลบ ( $-$ ) แสดงว่า ข้อสอบไม่ดี ไม่สามารถจำแนกผู้สอบได้ ต้องตัดข้อสอบข้อนั้นทิ้ง ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบที่เป็นศูนย์ ( $0$ ) แสดงว่า ข้อสอบไม่มีค่าอำนาจจำแนก และอำนาจจำแนกของข้อสอบที่เป็นบวก ( $+$ ) แสดงว่า ข้อสอบดี สามารถจำแนกผู้สอบได้ ในทางปฏิบัติข้อสอบที่ถูกคัดเลือกไว้ จะมีค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบตั้งแต่  $0.50$  ถึง  $2.50$

ค่าการเดาของข้อสอบ (Guess Parameter:  $c$ ) หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นของผู้สอบที่ไม่มีความสามารถในการตอบข้อสอบ แต่ตอบข้อสอบข้อนั้นได้ถูกต้อง หรือค่าที่แสดงโอกาสการตอบข้อสอบถูก โดยผู้ที่ไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ สำหรับค่าการเดาของข้อสอบมีค่าตั้งแต่  $0$  ถึง  $1$  ในทางปฏิบัติข้อสอบที่ถูกเลือกไว้ จะมีค่าการเดาของข้อสอบไม่เกิน  $0.30$

คะแนนรวมของผู้สอบ (Total Score) หมายถึง คะแนนที่ผู้สอบได้รับการทดสอบ หรือเป็นคะแนนสังเกตได้ของผู้สอบ (Observed Score) คำนวณจากจำนวนข้อสอบทั้งหมดที่ผู้สอบตอบถูก ในการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Next Item Selection) หมายถึง วิธีการคัดเลือกข้อสอบในคลังข้อสอบที่ยังไม่ถูกเลือกใช้ในการทดสอบ ซึ่งเป็นข้อสอบที่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (Next Item Selection Procedure Using Ant Colony System) หมายถึง การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีการเลียนแบบพฤติกรรมหารอาหารของมดที่จากรังไปสู่แหล่งอาหารซึ่งมดจะทำการเลือกพิจารณาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากความเข้มข้นของฟีโรโมน (Pheromone) โดยประยุกต์เปรียบเทียบกับการค้นหาข้อสอบจากกลุ่มของข้อสอบเพื่อเลือกข้อสอบที่มีความใกล้เคียงกับความสามารถของผู้สอบมากที่สุด

วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (Maximum Information Criterion) หมายถึง การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ค่าสารสนเทศสูงสุดใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบ

วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวริชซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ (Hurwicz Criterion with Item Exposure Control: HC-Ex) หมายถึง วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวริชซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบที่ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ

ค่าความสามารถของผู้สอบ (Ability) หมายถึง ระดับความสามารถของผู้สอบที่ประเมินได้จากการตอบข้อสอบที่ผ่านมาในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ (Ability Estimate) หมายถึง ค่าที่ใช้สำหรับประมาณค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ (True Ability) แสดงถึงระดับความสามารถของผู้สอบโดยคำนวณจากผลการตอบข้อสอบในทุกข้อที่ผ่านมา ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบมีค่าอยู่ระหว่าง  $-\infty$  ถึง  $+\infty$  แต่ในทางปฏิบัติมีค่าอยู่ระหว่าง  $-3.00$  ถึง  $3.00$  ถ้าค่าประมาณความสามารถของผู้สอบมีค่าเท่ากับ  $-3.00$  แสดงว่า ผู้สอบมีความสามารถต่ำมาก แต่ถ้าค่าประมาณความสามารถของผู้สอบมีค่าเท่ากับ  $3.00$  แสดงว่า ผู้สอบมีความสามารถสูงมาก

ความยาวของแบบทดสอบ (Test Length) หมายถึง ปริมาณของข้อสอบในแบบทดสอบที่ต้องการจัดให้แก่ผู้สอบ

การใช้ข้อสอบ (Item Exposure) หมายถึง การจัดข้อสอบที่ผ่านการคัดเลือกแล้วให้แก่ผู้สอบ

อัตราการใช้ข้อสอบ (Item Exposure Rate) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนการใช้ข้อสอบต่อจำนวนผู้สอบทั้งหมดที่ทำการทดสอบ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าอัตราการใช้ข้อสอบมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ข้อสอบข้อนั้นถูกจัดให้แก่ผู้สอบบ่อยครั้งเกินไป ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าอัตราการใช้ข้อสอบควรมีค่าไม่เกิน 0.20

การควบคุมการใช้ข้อสอบ (Item Exposure Control) หมายถึง การควบคุมการจัดข้อสอบที่ผ่านการคัดเลือกแล้วให้แก่ผู้สอบด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เพื่อไม่ให้ข้อสอบถูกจัดให้แก่ผู้สอบบ่อยครั้งเกินไป คือ ควบคุมไม่ให้ข้อสอบมีอัตราการใช้ข้อสอบเกิน 0.20

ประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (Estimative Efficiency) หมายถึง ความสามารถของวิธีการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบให้เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบมากที่สุด ซึ่งจะพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) และค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias)

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) หมายถึง ค่าบอกความถูกต้องของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าประมาณความสามารถกับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่า ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ คือ ค่าประมาณความสามารถมีความถูกต้องมาก

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) หมายถึง ค่าบอกความถูกต้องของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ถ้าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

เฉลี่ยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่า ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ

เกณฑ์ยุติการทดสอบ (Termination Criterion) หมายถึง ข้อกำหนดเพื่อใช้สิ้นสุดการทดสอบซึ่งมีหลายเกณฑ์ แต่เกณฑ์ที่เป็นที่นิยมได้แก่ กำหนดจำนวนข้อสอบคงที่ เช่นกำหนดจำนวนข้อสอบ 25 ข้อ ถ้าผู้สอบทำข้อสอบครบ 25 ข้อ การทดสอบจะยุติลงหรือกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบที่เหมาะสมเช่นกำหนดค่า SEE ต่ำกว่า 0.30 แสดงว่า ผู้สอบจะดำเนินการทดสอบไปเรื่อยๆจนกว่าค่า SEE มีค่าลดลงต่ำกว่า 0.30 การทดสอบจึงยุติลง

วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System) หมายถึง วิธีที่ได้แนวคิดมาจากพื้นฐานของการค้นหาแหล่งอาหารของฝูงมดในธรรมชาติ โดยมดทุกตัวในฝูงจะร่วมมือกันค้นหาแหล่งอาหารและพยายามค้นหาเส้นทางจากรังไปยังแหล่งอาหารให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุดการค้นหาเส้นทางนั้นมดใช้สารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เป็นข้อมูลในการหาเส้นทางทั้งขาไปและขากลับรัง โดยมดจะพ่นฟีโรโมนลงบนเส้นทางที่ผ่านเพื่อเป็นข้อมูลให้มดตัวอื่นๆเดินตามและมดที่เดินตามก็จะวางฟีโรโมนทับลงไปอีกฟีโรโมนในเส้นทางใดมีค่ามากก็จะมีจำนวนมดผ่านมากและเส้นทางจะมีความสั้นกว่าเส้นทางมีปริมาณฟีโรโมนน้อย จนกระทั่งสุดท้ายเส้นทางที่มีมดเลือกเดินมากที่สุดคือเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยนำหลักการดังกล่าวมาปรับกระบวนการโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์และกฎเกณฑ์ต่างๆให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของมดซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของโมเดลทางคณิตศาสตร์ภายใต้ทฤษฎีของความน่าจะเป็น และมีกระบวนการปรับปรุงค่าฟีโรโมนหลังจากที่มดทุกตัวค้นหาคำตอบเสร็จ มดตัวที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดใฝูงเท่านั้นที่มีโอกาสนำคำตอบไปปรับฟีโรโมนเพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบรอบถัดไป

เมตาฮีริสติก (Metaheuristic) หมายถึง ชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่มีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น

วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หมายถึง ความฉลาดเทียมที่สร้างขึ้นให้กับสิ่งที่ไม่มีชีวิตเช่นคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถคิดวิเคราะห์ ตัดสินใจและแก้ปัญหาได้เหมือนมนุษย์

การจัดหมวดหมู่ข้อสอบโดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Item Classification) หมายถึง การจัดเรียงข้อสอบในตำแหน่งหรือโหนดที่เหมาะสมบนต้นไม้ตัดสินใจตามค่าสารสนเทศของข้อสอบและค่าความสามารถของผู้สอบแบบอัตโนมัติ

ดีเทอร์มินิสติกส์ (Deterministic) หมายถึง สมการที่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนและค่าผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์นี้

สโตแคสติกส์ (Stochastic) หมายถึง สมการที่มีตัวแปรอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นผลลัพธ์จะมีความยืดหยุ่นตามค่าของความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้น

ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) หมายถึง โครงสร้างข้อมูลชนิดเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) ใช้สนับสนุนการตัดสินใจ โดยจะมีลักษณะคล้ายต้นไม้จริงกลับหัวที่มีโหนดรากอยู่ด้านบนสุดและโหนดใบอยู่ล่างสุดของต้นไม้ ภายในต้นไม้จะประกอบไปด้วยโหนด (Node) ซึ่งแต่ละโหนดจะมี

คุณลักษณะ (Attribute) เป็นตัวทดสอบ กิ่งของต้นไม้ (Branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ถูกเลือกทดสอบ และใบ (Leaf) ซึ่งเป็นสิ่งที่อยู่ล่างสุดของต้นไม้ตัดสินใจ โหนดที่อยู่บนสุดของต้นไม้เรียกว่าโหนดราก (Root node)

ต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม (Triangle Decision Tree) หมายถึง ต้นไม้ตัดสินใจประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างเรียงต่อกันเป็นชั้น จากบนลงล่างคล้ายรูปสามเหลี่ยม ตั้งแต่ต้นไม้ลำดับที่ 3 เป็นต้นไปจะมีโหนดกลางซึ่งมีเส้นทางเชื่อมต่อร่วมกันระหว่างกิ่งของต้นไม้ทางซ้ายและทางขวาในแต่ละระดับของต้นไม้ให้สามารถเชื่อมโยงเข้าด้วยกันได้

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หมายถึง ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้และคิดได้ด้วยตัวเอง สามารถทำนายหรือตัดสินใจได้โดยปราศจากการทำงานตามลำดับคำสั่งโปรแกรม

เหมืองข้อมูล (Data Mining) หมายถึง การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีประโยชน์ในรูปแบบ (Pattern) หรือกฎ (Rules) ที่เกิดขึ้นในฐานข้อมูลขนาดใหญ่

นักศึกษา (Student) หมายถึง นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 คณะการบิณฑการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอานานิคมมดครั้งนี้มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งได้เป็น 3 ตอน ดังนี้

- ตอนที่ 1 การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ตอนที่ 2 วิธีระบบอานานิคมมดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ตอนที่ 3 การศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล

#### ตอนที่ 1 การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Adaptive Testing: CAT) เป็นการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่สามารถคัดเลือกข้อสอบให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ กล่าวคือคอมพิวเตอร์จะทำการคัดเลือกข้อสอบข้อที่เหมาะสมให้กับผู้สอบแต่ละคนที่แตกต่างกัน โดยอาศัยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT) เป็นพื้นฐานในการคำนวณค่าสารสนเทศของข้อสอบแล้วนำไปดำเนินการหาความสัมพันธ์กับค่าความสามารถของผู้สอบเพื่อคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมต่อไป (Reckase, 2009, p. 311) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วยองค์ความรู้ 2 ด้านคือทฤษฎีการวัดผลการศึกษาและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิธีดำเนินการจัดการการทดสอบจะคัดเลือกข้อสอบจากคลังข้อสอบให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการตอบข้อสอบข้อที่ผ่านมาของผู้สอบส่งผลให้ผู้สอบแต่ละคนได้ข้อสอบที่แตกต่างกันและจำนวนข้อสอบที่ไม่เท่ากัน (Phankokkruad & Woraratpanya, 2012)

##### 1. องค์ประกอบและหลักการของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

การดำเนินการในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ

1.1 การสร้างคลังข้อสอบ (Create Item Bank) เป็นการสร้างคลังข้อสอบที่มุ่งวัดคุณลักษณะหรือความสามารถของผู้สอบที่ต้องการได้ ครอบคลุมระดับความสามารถที่ต่าง ๆ กันและมีข้อสอบในคลังอย่างน้อย 500 ข้อ (Thompson & Weiss, 2011) ซึ่งคลังข้อสอบที่ดีจะต้องมีจำนวนข้อสอบเท่ากับ  $2^n$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนข้อสอบที่ต้องการใช้ทดสอบ

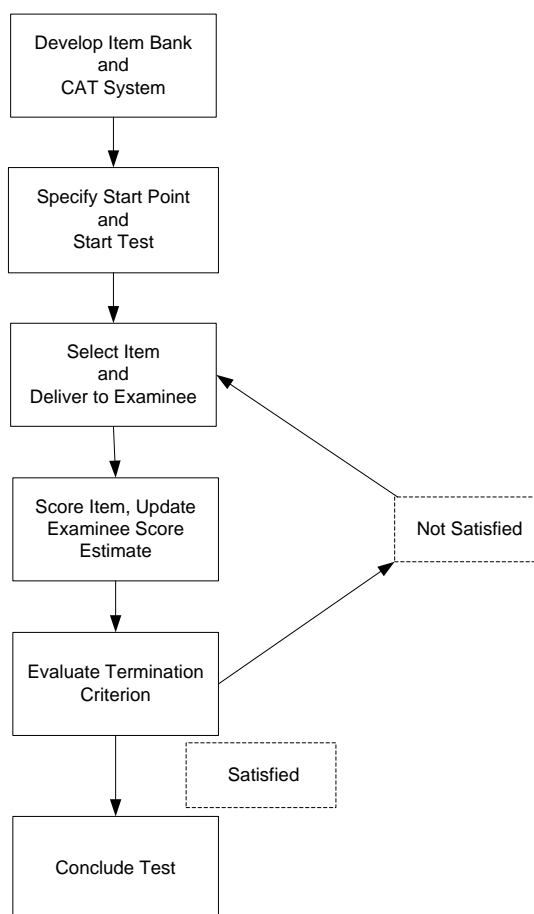
1.2 การคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้น (First Item Selection) การทดสอบควรเริ่มต้นจากการเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากที่เท่ากับหรือต่ำกว่าระดับความสามารถของผู้สอบ เพื่อให้การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ถูกต้องมากขึ้น (Thompson, 2009) นอกจากนั้นการคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้นอาจจะพิจารณาผลการเรียนของผู้สอบที่ผ่านมาก็ได้

1.3 การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Next Item Selection) เป็นขั้นตอนที่ต้องพิจารณาคัดเลือกข้อสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยอาศัยผลการตอบข้อสอบข้อก่อนหน้ามาร่วมพิจารณาด้วย (Thompson, 2009)

1.4 การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (Calculate Possible Ability Levels) เป็นการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบหลังจากตอบข้อสอบแล้ว ซึ่งวิธีการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบที่นิยมใช้คือ 1) การประมาณค่าด้วยวิธีของเบส์ (Bayesian) 2) การประมาณค่าด้วยวิธีของเบส์ปรับใหม่ (Bayesian Updating) 3) การประมาณค่าด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood)

1.5 เกณฑ์การยุติการทดสอบ (Termination Criterion) คือการสิ้นสุดการทดสอบเมื่อผู้สอบทดสอบครบตามเงื่อนไขหรือเกณฑ์ที่กำหนด การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จะขาดขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไม่ได้ เนื่องจากแต่ละขั้นตอนมีการดำเนินการที่มีความสัมพันธ์กัน (Thompson & Weiss, 2011)

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มีหลักการคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับบุคคล ซึ่งอยู่บนฐานการตอบข้อสอบข้อที่ผ่านมาของผู้เข้าสอบ กล่าวคือ เมื่อผู้เข้าสอบทำข้อสอบข้อเริ่มต้น หรือชุดเริ่มต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบ แล้วจะนำผลการตอบข้อสอบมาวิเคราะห์ หรือประเมินระดับความสามารถของผู้เข้าสอบ เพื่อที่จะเลือกข้อสอบที่เหมาะสมข้อถัดไป โดยอาศัยหลักการคัดเลือกข้อสอบว่า ถ้าทำข้อสอบที่ผ่านมาถูกต้อง ข้อสอบข้อถัดไปจะยากมากขึ้นหากทำข้อสอบข้อที่ผ่านมาผิด ข้อสอบข้อถัดไปจะง่ายลง กระบวนการนี้จะดำเนินการไปจนกว่าจะประเมินระดับความสามารถของผู้เข้าสอบเป็นไปตามเกณฑ์การยุติการทดสอบที่กำหนด การทดสอบจึงยุติลง (Reckase, 2009, p. 311) โดยขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แสดงตามภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Thompson & Weiss, 2011, p. 2)

จากภาพที่ 2-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมี 5 ขั้นตอนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาคลังข้อสอบและระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Develop Item bank and CAT System) เป็นขั้นตอนที่ต้องพิจารณาขนาดของคลังข้อสอบและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับหลักการของทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ เพื่อคัดเลือกข้อสอบที่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดมาจัดเก็บในคลังข้อสอบ (Linden & Glas, 2010, p. 231) ซึ่งคลังข้อสอบที่ดีจะต้องมีจำนวนข้อสอบเท่ากับ  $2^n$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนข้อสอบในคลังข้อสอบควรมีข้อสอบอย่างน้อย  $n(n+1)/2$  ข้อ เช่นถ้าต้องการทดสอบ 10 ข้อ ต้องมีข้อสอบในคลังข้อสอบ 55 ข้อ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้น (Specify Starting Point and Start Test) เป็นการคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้น ซึ่งเป็นข้อสอบที่มีระดับความปานกลาง กล่าวคือ การเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่าความยากของข้อสอบทั้งหมด หรือการคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้นจากการสุ่มในช่วงระดับความยากของข้อสอบที่กำหนด หรือการคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้นตามเกณฑ์ที่กำหนด (Thompson, 2009)

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Score Item, Update Examinee Score Estimate) เป็นขั้นตอนที่ต้องพิจารณาคัดเลือกข้อสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด โคนอาศัยผลการตอบข้อสอบก่อนหน้ามาร่วมพิจารณาด้วย นอกจากนี้การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากข้อสอบที่เลือกมาเป็นข้อสอบข้อถัดไปนั้นส่งผลต่อการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ดังนั้นควรเลือกข้อสอบที่มีความสอดคล้องกับความสามารถของผู้สอบ ณ ขณะนั้น หากคัดเลือกข้อสอบที่ไม่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบมาใช้ จะส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบสูงตามไปด้วย รวมทั้งใช้เวลาในการทดสอบและจำนวนข้อสอบที่มากขึ้น (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012) ซึ่งการเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่นิยมใช้งานมีดังนี้

1. การเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ระดับความยากของข้อสอบ (b) กล่าวคือ เมื่อประมาณค่าความสามารถของผู้สอบและจะนำค่าความสามารถของผู้สอบมาเปรียบเทียบกับค่าระดับความยากของข้อสอบทุกข้อและเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากของข้อสอบที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบในขณะนั้นมากที่สุดมาเป็นข้อสอบข้อถัดไป โดยไม่คำนึงถึงค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) และค่าการเดาของข้อสอบ (c)

2. การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด (Maximum Information Criterion) (Linden & Glas, 2010, p. 11) เป็นการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่นำปัจจัยของการเดาข้อสอบมาพิจารณาร่วมกับค่าความสามารถของผู้สอบในขณะนั้น ซึ่งจะคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าสารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบมาเป็นข้อสอบข้อถัดไป ค่าสารสนเทศสูงสุดของข้อสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (Birnbbaum, 1968)

$$m_i = b_i + \frac{1}{Da_i} \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + 8c_i}}{2} \right] \quad (1)$$

- เมื่อ  $m_i$  คือ ค่าสารสนเทศสูงสุด  
 $D$  คือ 1.70  
 $\ln$  คือ Natural Logarithm  
 $a_i$  คือ ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ  
 $b_i$  คือ ค่าความยากของข้อสอบ  
 $c_i$  คือ ค่าการเดาของข้อสอบ

การเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ระดับความยากของข้อสอบ (b) กล่าวคือ เมื่อประมาณค่าความสามารถของผู้สอบและจะนำค่าความสามารถของผู้สอบมาเปรียบเทียบกับค่าระดับความยากของข้อสอบทุกข้อและเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากของข้อสอบที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบในขณะนั้นมากที่สุดมาเป็นข้อสอบข้อถัดไป โดยไม่คำนึงถึงค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) และค่าการเดาของข้อสอบ (c) หรือ การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบ (Maximum Information Criterion: MI)



ขั้นตอนที่ 4 การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบ (Score Item, Update Examinee Score Estimate) เป็นการประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบหลังจากตอบข้อสอบแล้ว ซึ่งวิธีการประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบที่นิยมใช้กัน คือ 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีของเบส์ (Bayesian) 2) การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีของเบส์ปรับใหม่ (Bayesian Updating) 3) การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood)

1. การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีของเบส์  
การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีของเบส์ (Bayesian) มีการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้จาก Bayes's theorem ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$f(\theta/U) = K \cdot L(U/\theta) \cdot f(\theta) \quad (2)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} f(\theta/U) &= \text{Posterior Distribution ของ } \theta \\ L(U/\theta) &= \text{Likelihood Function ของ Vector U (Item Response)} \\ f(\theta) &= \text{Prior Distribution ของ } \theta \\ K &= \text{Constant} \end{aligned}$$

2. การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบด้วยวิธีของเบส์ปรับใหม่  
การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีของเบส์ปรับใหม่ (Bayesian Updating) ทำให้การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ค่าค่อนข้างคงที่ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ตอบข้อสอบถูก

$$\theta_{m+1} = \theta_m + (1 - c) \left( \frac{\sigma_m^2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \sigma_m^2}} \right) \left( \frac{O(D)}{c + (1-c)A(-D)} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_{m+1}^2 = \sigma_m^2 \left( 1 - \left( \frac{1-c}{1 + \frac{1}{a^2 \sigma_m^2}} \right) \left( \frac{O(D)}{B} \right) \left( \frac{(1-c)O(D)}{B} - D \right) \right) \quad (4)$$

เมื่อ

$$D = \frac{b - \theta_m}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \sigma_m^2}}$$

และ

$$B = c + (1 - c) \times A(-D)$$

## 2. ในกรณีที่ตอบข้อสอบผิด

$$\theta_{m+1} = \theta_m - \left( \frac{\sigma_m^2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \sigma_m^2}} \right) \left( \frac{O(D)}{A(D)} \right) \quad (5)$$

$$\sigma_{m+1}^2 = \sigma_m^2 \left( 1 - \left( \frac{O(D)}{1 + \frac{1}{a^2 \sigma_m^2}} \right) \left( \frac{O(D)}{A(D)} + D \right) \div A(D) \right) \quad (6)$$

เมื่อ

$\theta_m$	=	ความสามารถของผู้สอบที่ประมาณได้ก่อนตอบข้อสอบที่ $m + 1$ ตามปกติ แล้วเมื่อเริ่มทำข้อสอบจะไม่ทราบค่าความสามารถเบื้องต้นของผู้สอบจึงกำหนดให้ $\theta_m$ เท่ากับ 0.000
$\sigma^2 m$	=	ความแปรปรวนในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบก่อนตอบข้อสอบข้อที่ $m + 1$ ตามปกติแล้วเมื่อเริ่มทำข้อสอบจะไม่ทราบค่าความแปรปรวน ดังกล่าวมาก่อน จึงกำหนดให้ $\sigma^2 m$ เท่ากับ 1.000
$\theta_{m+1}$	=	ความสามารถของผู้สอบที่ประมาณได้หลังจากตอบข้อสอบข้อที่ $m + 1$
$\sigma_{m+1}^2$	=	ความแปรปรวนในการประมาณค่าความสามารถของหลังจากตอบข้อสอบข้อที่ $m + 1$
$a_i$	=	ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่ $m + 1$
$b_i$	=	ค่าความยากของข้อสอบข้อที่ $m + 1$
$c_i$	=	ค่าโอกาสในการเดาข้อสอบถูกของข้อสอบข้อที่ $m + 1$
$D$	=	จุดบนแกน X
$O(D)$	=	ค่าออร์ดิเนต (Ordinate) ของโค้งปกติที่จุด D
$A(D)$	=	พื้นที่ใต้โค้งปกติจากค่า D ต่ำสุดจนถึงจุด D

## 3. การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด

การประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood) มีอยู่หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมมากที่สุด คือวิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Maximum Likelihood) โดยการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบโดยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ คือถ้าผู้สอบตอบข้อสอบถูกทุกข้อ หรือผิดทุกข้อจะไม่สามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ วิธีการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ของวิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินค่าความสามารถของผู้สอบเริ่มต้น ( $\theta_m = 0; m = 0$ )

$$\theta_0 = \ln\left(\frac{r_a}{k-r_a}\right) \quad (7)$$

เมื่อ

- $r_a$  = Posterior Distribution ของ  $\theta$
- $u_i$  = 1 เมื่อตอบข้อสอบถูก
- $u_i$  = 0 เมื่อตอบข้อสอบผิด
- $a_i$  = ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่  $i$
- $k$  = จำนวนข้อสอบทั้งหมดที่มีผู้สอบตอบ

ขั้นตอนที่ 2 หาค่า  $P_i(\theta_m)$  และ  $Q_i(\theta_m)$

$$P_i(\theta_m) = C_i + (1 - C_i) \frac{e^{Da_i(\theta_m - b_i)}}{Da_i(\theta_m - b_i)} \quad (8)$$

เมื่อ

- $\theta_m$  = ความสามารถของผู้สอบที่ประมาณค่าได้ในครั้งที่  $m$
- $a_i$  = ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่  $i$
- $b_i$  = ค่าความยากของข้อสอบข้อที่  $i$
- $C_i$  = ค่าการเดาข้อสอบของข้อสอบข้อที่  $i$
- $D$  = ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 1.70
- $c$  = ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 2.72

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าปรับแก้  $h_m$

$$h_m = \frac{D[r_a - \sum P_i(\theta_m)]}{-D^2 \sum P_i(\theta_m) Q_i(\theta_m)} \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินค่าความสามารถของผู้สอบใหม่  $\theta_{m+1}$

$$\theta_{m+1} = \theta_m - h_m \quad (10)$$

ประมาณค่า  $\theta$  ซ้ำจนบรรลุเงื่อนไข โดยที่คำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่ง  $h_m$  เข้าใกล้ศูนย์ ( $h_m < 0.001$ ) หรือบรรลุตามเงื่อนไขจึงยุติการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 5 เกณฑ์การยุติการทดสอบ (Evaluate Termination Criterion) คือ การสิ้นสุดการทดสอบ เมื่อผู้เข้าสอบทำการทดสอบครบตามเงื่อนไข หรือเกณฑ์ที่กำหนด (Thompson &

Weiss, 2011) เช่น กำหนดจำนวนข้อสอบไว้ล่วงหน้า เวลาที่ใช้ในการทดสอบ คะแนนจุดตัดที่แยก ระดับความสามารถของผู้สอบ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าของผู้สอบ เป็นต้น สำหรับเกณฑ์การยุติการทดสอบที่นิยมใช้กันมี 2 ประเภท ดังนี้

### 1. กำหนดจำนวนข้อสอบคงที่

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้เกณฑ์การยุติการทดสอบประเภทนี้ ผู้สอบจะต้องทำแบบทดสอบจนครบตามจำนวนข้อสอบที่กำหนดการทดสอบจึงยุติลง เช่น กำหนดให้ผู้สอบทำแบบทดสอบจำนวน 20 ข้อ ผู้สอบต้องทำข้อสอบให้ครบ 20 ข้อตามที่กำหนดเป็นต้น การทดสอบโดยใช้เกณฑ์การยุติการทดสอบประเภทนี้ อาจจะทำให้คุณภาพของการวัดผลอาจจะมีผลแตกต่างกันได้

### 2. กำหนดระดับความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่เหมาะสม

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้เกณฑ์การยุติการทดสอบประเภทนี้ ผู้สอบจะต้องทำแบบทดสอบไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าลดลงถึงระดับที่กำหนดการทดสอบจึงยุติลง การทดสอบที่ใช้เกณฑ์ประเภทนี้ผู้สอบแต่ละคนอาจจะทำข้อสอบในจำนวนที่ไม่เท่ากัน หรือข้อสอบที่ไม่เหมือนกันได้ โดยทั่วไปจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยกว่า 0.30 สำหรับการหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$SSE(\theta) = \frac{1}{\sqrt{I(\theta)}} \quad (11)$$

เมื่อ  $SSE(\theta)$  = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า  $\theta$

$I(\theta)$  = สารสนเทศของแบบสอบที่ให้สำหรับผู้มีความสามารถ  $\theta$

จากการดำเนินการในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากข้อสอบที่เลือกมาเป็นข้อสอบข้อถัดไปนั้นส่งผลต่อการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ดังนั้นควรเลือกข้อสอบที่มีความสอดคล้องกับความสามารถของผู้สอบ ณ ขณะนั้น หากคัดเลือกข้อสอบที่ไม่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบมาใช้ จะส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบสูงตามไปด้วย รวมทั้งใช้เวลาในการทดสอบและจำนวนข้อสอบที่มากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวการพัฒนาเทคนิควิธีการในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่เหมาะสมในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ข้อสอบที่เหมาะสมกับผู้สอบมากที่สุด

## 2. ความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบดั้งเดิมกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดสอบแบบประเพณีนิยม ในประเด็นต่อไปนี้

2.1 ลดจำนวนข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละคน จึงเป็นการประหยัดเวลาของการทดสอบ ซึ่งสามารถลดจำนวนข้อสอบลงได้ประมาณ 50% หรือถ้าใช้เวลาในการทดสอบเท่ากัน จะทำให้วัดความสามารถได้ละเอียดกว่าหรือหลายมิติกว่า เช่น การวัดความถนัดพหุในด้านต่าง ๆ

2.2 ได้สารสนเทศสูงสุดเกี่ยวกับความสามารถของผู้สอบ กล่าวคือความคลาดเคลื่อนของการวัด (Measurement Error) จะลดลงกว่าวิธีการทดสอบแบบประเพณีนิยม การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบจึงมีประสิทธิภาพเนื่องจากประหยัดเวลา ลดจำนวนข้อสอบลงได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของการทดสอบลดลง แต่กลับมีแนวโน้มที่จะเพิ่มคุณภาพของการวัดให้สูงขึ้น ทั้งในแง่ความเที่ยง (Reliability) และความตรง (Validity)

อย่างไรก็ตามการทดสอบที่มีคุณภาพสูงขึ้นนี้จะได้มากก็ด้วยความพยายามของการสร้างระบบ การทดสอบแนวใหม่และการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมมาช่วยในการทดสอบ

### 3. ประเภทของการทดสอบแบบปรับเหมาะ

การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

3.1 การทดสอบสองขั้นตอน (Two-stage Strategies)

3.2 การทดสอบหลายขั้นตอน (Multi-stage Strategies) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แบบแยกทางคงที่ (Fixed) กับแบบแยกทางแปรผัน (Variable Branching Model)

3.2.1 การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบสองขั้นตอน เป็นการทดสอบโดยใช้ข้อสอบ 2 ชุด การดำเนินการสอบเริ่มด้วยให้ ผู้สอบทำแบบทดสอบเพื่อแยกทาง (Routing Test) ผลจากการทดสอบนี้จะเห็นตัวชี้วัดว่าผู้สอบจะได้รับแบบทดสอบชุดใด ในขั้นที่ 2 ซึ่งเรียกแบบทดสอบในขั้นนี้ว่า แบบทดสอบเพื่อวัดผล (Measurement Test) โดยหลักการแล้วผู้สอบที่ได้คะแนนน้อยจากการทดสอบแยกทางถือว่าเป็นผู้ที่มีความสามารถต่ำจะได้รับข้อสอบเพื่อวัดผลชุดที่ง่าย ส่วนผู้ที่ได้คะแนนจากการทดสอบเพื่อแยกทางมากหรือมีความสามารถสูงจะได้รับข้อสอบเพื่อวัดผลชุดที่ยากขึ้น

3.2.2 การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบแบบหลายขั้นตอน เป็นการทดสอบที่มีโครงสร้างของแบบทดสอบเป็นรูปพีระมิดโดยใช้ค่าความยากง่ายของข้อสอบเป็นเกณฑ์ ในการจัดเรียงข้อสอบที่มีความยากง่ายปานกลางจะอยู่จุดยอดของพีระมิด การดำเนินการสอบจะเริ่มด้วยให้ผู้สอบตอบข้อสอบข้อแรกที่มีความยากง่ายปานกลาง ถ้าผู้สอบตอบคำถามถูกข้อสอบข้อต่อไปจะยากขึ้นและถ้าผู้สอบตอบผิดข้อสอบข้อต่อไปก็จะง่ายลง การทดสอบจะดำเนินการเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงเกณฑ์ยุติการสอบตามที่กำหนดไว้การสอบจึงสิ้นสุดลง

อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบเป็นการทดสอบที่ผู้สอบแต่ละคนได้สอบข้อสอบแตกต่างกันด้วยการคัดเลือกข้อสอบที่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ ด้วยการออกแบบคลังข้อสอบที่มีข้อสอบจำนวนมากให้มีเนื้อหาครอบคลุมสิ่งที่ต้องการวัด อีกทั้งยังเป็น การทดสอบที่ใช้หลักจิตวิทยาที่ทำให้ผู้สอบเกิดความพึงพอใจ เนื่องจากข้อสอบเหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบ ผู้สอบจะไม่รู้สึกว่าข้อสอบมีความยากมากเกินไป ความสามารถของพวกเขา ด้วยการตรวจและรายงานผลที่รวดเร็วตอบสนองความต้องการของผู้สอบที่ต้องการทราบผลการสอบทันทีที่สอบเสร็จ การทดสอบแบบปรับเหมาะกับความสามารถของผู้สอบจึงเป็นการทดสอบที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อตอบสนองผู้เรียนอย่างแท้จริง

### 4. ประโยชน์ของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

4.1 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบโดยเฉพาะภาระงานการทดสอบต่าง ๆ ได้แก่ การดำเนินการทดสอบ การกำหนดเกณฑ์และการให้คะแนน

4.2 ข้อสอบที่เก็บไว้ในคลังข้อสอบในคอมพิวเตอร์จะมีความปลอดภัย (Security) ต่อการคัดลอกมากกว่าที่เก็บไว้ในคลังโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์

4.3 ไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลา ผู้สอบสามารถทำแบบทดสอบในเวลาที่แตกต่างกันตามความพร้อมของแต่ละบุคคลภายในช่วงเวลาที่กำหนด

4.4 ผู้สอบไม่เกิดความท้อแท้ในการทำข้อสอบ เนื่องจากเป็นการคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับความสามารถของแต่ละบุคคล

4.5 การตรวจข้อสอบมีความชัดเจนขึ้น เนื่องจากไม่มีปัญหาที่เกิดจากกระดาษคำตอบ เช่น การทำเครื่องหมายไม่ชัดเจน ความไม่ชัดเจนในข้อที่เลือกที่เกิดจากการลบเมื่อต้องการเปลี่ยนคำตอบ เป็นต้น

4.6 ข้อสอบสามารถตรวจให้คะแนนและให้ผลย้อนกลับ (Feed Back) กับผู้สอบได้ทันที

4.7 สามารถคัดเลือกข้อสอบจากการตอบข้อสอบเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว

4.8 ผู้สอบได้ทำข้อสอบที่มีจำนวนข้อสอบเหมาะสมกับระดับความสามารถ

4.9 มีการเสนอข้อสอบให้ผู้สอบตอบในรูปแบบที่หลากหลายทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และเสียงประกอบ

## 5. ข้อจำกัดของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

5.1 ความปลอดภัยของแบบทดสอบ (Test Security) แม้ว่าจะมีนักวิจัยหลายคนแสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มีความปลอดภัยของแบบทดสอบมากกว่าการทำแบบทดสอบบนโต๊ะ (Desk Drawer) แต่ก็ยังมีนักวิจัยบางท่านโต้แย้งว่าปัจจุบันมีวิธีการขโมยข้อสอบได้หลายวิธี เช่น โทรศัพท์มือถือ (Mobile Telephone) กล้องขนาดเล็ก (Miniature Cameras) กล้องวิดีโอ (Video Transmitters) เครื่องบันทึกวิดีโอขนาดเล็ก (Micro Video Recorders) นอกจากนี้ผู้สอบยังสามารถคัดลอกข้อสอบจากเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ง่าย และรวดเร็วกว่าการคัดลอกข้อสอบจากกระดาษคำตอบอีกด้วย

5.2 ปัญหาเกี่ยวกับผู้สอบ (Examinee Issues) แม้ว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จะมีประโยชน์ต่อผู้สอบมาก แต่ยังคงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับผู้สอบ เช่น ผู้สอบหลายคนไม่เคยชินกับการใช้คอมพิวเตอร์ทำให้เกิดความวิตกกังวล ผู้สอบบางคนแสดงให้เห็นว่าการนำเสนอโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่ยุ่งยาก (Difficult or Fatiguing) โดยเฉพาะการตอบโดยใช้เมาส์หรือคีย์บอร์ด

5.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Financial Realities) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้น มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างแบบทดสอบการเตรียมการและการดำเนินการทดสอบค่อนข้างสูงเช่น Educational Testing Service (ETS) ได้ศึกษาค่าใช้จ่ายในการทดสอบแบบปรับเหมาะโดยใช้คอมพิวเตอร์ พบว่ามีค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายจริงมากกว่าวิธีการทดสอบแบบประเพณีนิยม ดังจะเห็นได้จากในสหรัฐอเมริกาผู้สอบจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า 100 ดอลลาร์ เพื่อทำการทดสอบ TOEFL ในระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะโดยใช้คอมพิวเตอร์ ค่าใช้จ่ายที่แพงมากดังกล่าวมาจากการพัฒนาคลังข้อสอบสำหรับการบริหารการทดสอบ และการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและการนำไปใช้ในระบบที่สมบูรณ์ระหว่าง 3,000 – 5,000 ดอลลาร์

## 6. ทฤษฎีการวัดและการประเมินผลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

### 6.1 ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT)

ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT) เป็นทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขจุดด้อยของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory: CTT) ซึ่งจุดด้อยที่สำคัญคือ ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบจะแปรผันตามกลุ่มของผู้สอบ และคะแนนหรือการประมาณค่าความสามารถของผู้เข้าสอบไม่เป็นอิสระขึ้นอยู่กับข้อสอบหรือแบบทดสอบที่นำมาใช้สำหรับทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1) ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบตรงให้คะแนน 2 ค่า (Dichotomous Item Response Theory) และ 2) ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบตรงให้คะแนนมากกว่า 2 ค่า (Polytomous Item Response Theory)

สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้กล่าวถึงเฉพาะในส่วนของทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบตรงให้คะแนน 2 ค่า (Dichotomous Item Response Theory) เท่านั้น

ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบตรงให้คะแนน 2 ค่า (Dichotomous Item Response Theory) เป็นทฤษฎีอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของผู้สอบกับการตอบข้อสอบโดยใช้โค้งคุณลักษณะข้อสอบ (Item Characteristic Curve: ICC) ซึ่งมีการกำหนดคุณลักษณะข้อสอบด้วยค่าอำนาจจำแนก (a) ค่าความยาก (b) และค่าการเดา (c) มีหลักการตรงให้คะแนนเพียง 2 ค่า เช่น ถูก-ผิด ใช่-ไม่ใช่ หรือ 0,1 เป็นต้น

### 6.2 ข้อตกลงเบื้องต้นของทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ

6.2.1 ความเป็นมิติเดียว (Unidimension) หมายถึง ผลการตอบข้อสอบของผู้เข้าสอบสามารถอธิบายความสามารถหรือคุณลักษณะภายในเพียงด้านใดด้านหนึ่งของผู้เข้าสอบ และคุณลักษณะภายในด้านเดียวนี้มีความหมายเหมือนเป็นมิติเดียว ซึ่งข้อตกลงนี้ชี้ให้เห็นว่าอาจมีคุณลักษณะของข้อสอบบางประการที่ส่งผลกระทบต่อคำตอบข้อสอบเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรกำหนดความเป็นมิติเดียวให้เป็นลักษณะเด่น (Dominant) หรือลักษณะหลัก เพื่อที่จะนำไปอธิบายผลการตอบข้อสอบของผู้เข้าสอบได้

6.2.2 ความเป็นอิสระในการตอบข้อสอบ (Local Independence) หมายถึง เมื่อค่าความสามารถของผู้เข้าสอบเป็นค่าแน่นอน การตอบข้อสอบแต่ละข้อของผู้เข้าสอบคนหนึ่งจะมีความเป็นอิสระจากกัน กล่าวได้ว่า การตอบข้อสอบข้อใด ๆ ของผู้เข้าสอบจะไม่มีผลต่อข้อสอบข้ออื่น ๆ เลย แต่สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อคำตอบข้อสอบแต่ละข้อเป็นผลมาจากความสามารถของผู้เข้าสอบเท่านั้น ความเป็นอิสระในการตอบข้อสอบ ทำให้ค่าพารามิเตอร์ข้อสอบยังเป็นค่าคงที่ ไม่ว่าข้อสอบข้อนั้นจะอยู่ตำแหน่งใด ๆ ก็ตาม

6.2.3 โค้งคุณลักษณะของข้อสอบ (Item Characteristic Curve: ICC) หรือ ฟังก์ชันการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Function: IRF) เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการตอบข้อสอบถูกต้องกับระดับความสามารถของผู้เข้าสอบ

### 6.3 โมเดลการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Models)

โมเดลการตอบสนองข้อสอบ เป็นโมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสตอบข้อสอบ ถูกกับความสามารถของผู้เข้าสอบในรูปแบบของโค้งคุณลักษณะเฉพาะของข้อสอบ ซึ่งมีลักษณะเป็น ฟังก์ชันโลจิสติกส์ (Logistic Function) หรือฟังก์ชันปกติสะสม (Normal Ogive Function) สามารถ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “โมเดลโลจิสติกหรือโมเดลปกติสะสม” โมเดลการตอบสนองข้อสอบมี 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

#### 6.3.1 โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบ 1 พารามิเตอร์ (One-Parameter Model)

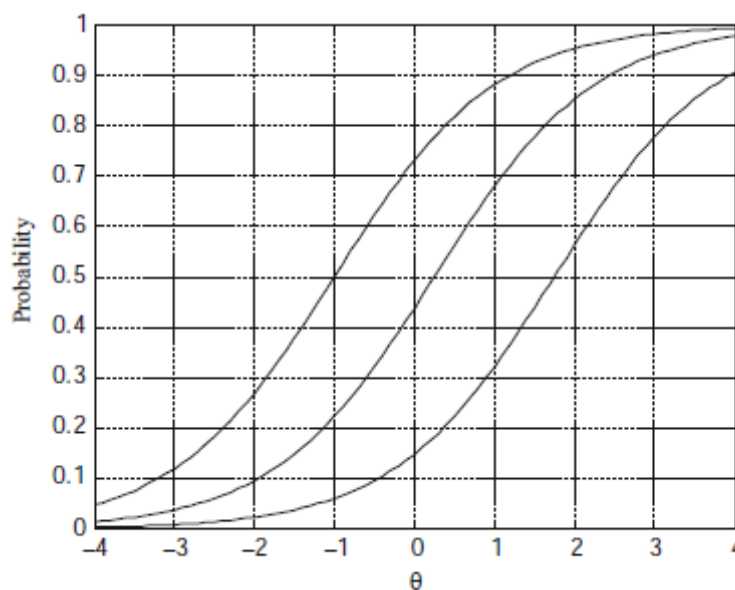
เป็นโมเดลที่อธิบายผลการวิเคราะห์ข้อสอบด้วยค่าความยากของข้อสอบ ( $b$ ) เรียก อีกอย่างหนึ่งว่า “Rasch Model” สามารถเขียนฟังก์ชันโลจิสติก ตามสมการที่ 12

$$P_i(\theta) = \frac{1}{1+e^{-(\theta-b_i)}} \quad i = 1,2,3, \dots, n \quad (12)$$

เมื่อ

- $P_i(\theta)$  = ความน่าจะเป็นของผู้เข้าสอบที่มีความสามารถ ( $\theta$ ) จะตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง
- $b_i$  = ค่าความยากของข้อสอบข้อที่  $i$
- $\theta$  = ความสามารถของผู้เข้าสอบ
- $e$  = 2.72

โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 1 พารามิเตอร์ แสดงได้ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 1 พารามิเตอร์ (Reckase, 2009, p. 20)



### 6.3.2 โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบ 2 พารามิเตอร์ (Two-Parameter Model)

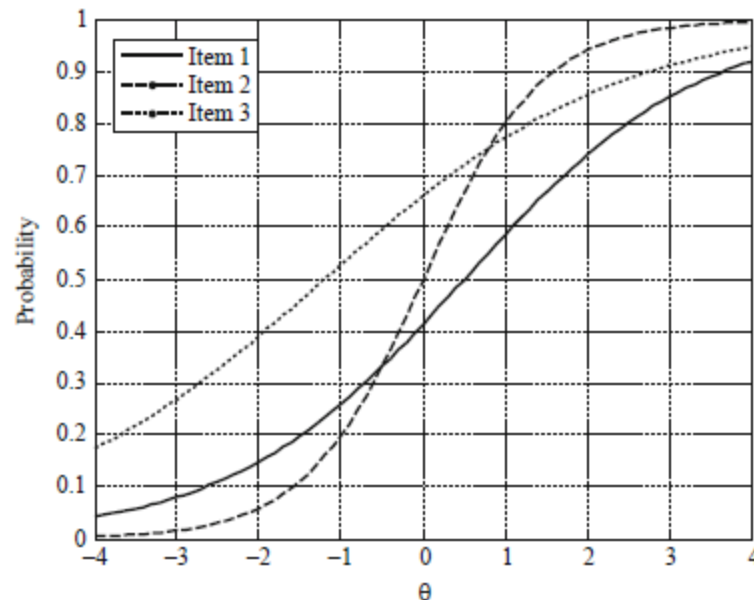
เป็นโมเดลการวิเคราะห์ข้อสอบที่ใช้ค่าพารามิเตอร์แบบ 2 พารามิเตอร์ คือค่าความยากของข้อสอบ ( $b$ ) และค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ( $a$ ) เขียนเป็นฟังก์ชันโลจิสติก ตามสมการที่ 13

$$P_i(\theta) = \frac{1}{1+e^{-Da_i(\theta-b_i)}} \quad i = 1,2,3, \dots, n \quad (13)$$

เมื่อ

- $P_i(\theta)$  = ความน่าจะเป็นของผู้เข้าสอบที่มีความสามารถ ( $\theta$ ) จะตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง
- $b_i$  = ค่าความยากของข้อสอบข้อที่  $i$
- $a_i$  = ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่  $i$
- $\theta$  = ความสามารถของผู้เข้าสอบ
- $D$  = 1.70
- $e$  = 2.72

โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 2 พารามิเตอร์ แสดงได้ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 2 พารามิเตอร์ (Reckase, 2009, p. 22)

### 6.3.3 โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์ (Three-Parameter Model)

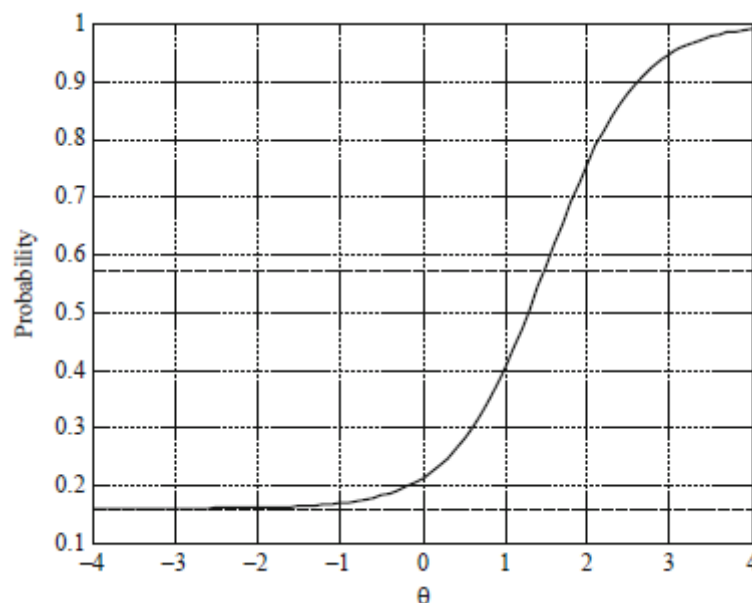
เป็นโมเดลพัฒนามาจากโมเดลการวิเคราะห์ข้อสอบที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ คือ ค่าความยากของข้อสอบ ( $b$ ) ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ( $a$ ) และค่าการเดาของข้อสอบ ( $c$ ) เขียนเป็นฟังก์ชันโลจิสติกตามสมการที่ 14

$$P_i(\theta) = c_i + \frac{1-c_i}{1+e^{-Da_i(\theta-b_i)}} \quad i = 1,2,3, \dots, n \quad (14)$$

เมื่อ

$P_i(\theta)$	=	ความน่าจะเป็นของผู้เข้าสอบที่มีความสามารถ ( $\theta$ ) จะตอบข้อสอบข้อที่ $i$ ได้ถูกต้อง
$b_i$	=	ค่าความยากของข้อสอบข้อที่ $i$
$a_i$	=	ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่ $i$
$c_i$	=	ค่าการเดาข้อสอบของข้อสอบข้อที่ $i$
$\theta$	=	ความสามารถของผู้เข้าสอบ
$D$	=	1.70
$e$	=	2.72

โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์ แสดงได้ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 โค้งคุณลักษณะของข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์ (Reckase, 2009, p. 24)

#### 6.4 ความไม่เปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์

เมื่อโมเดลการตอบสนองข้อสอบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่จะทำให้ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ (Item Parameter) และค่าพารามิเตอร์ความสามารถของผู้เข้าสอบ (Ability Parameter) ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (IRT) ซึ่งโด่งคุณลักษณะของข้อสอบ (ICC) จะมีลักษณะเดียวกัน ( $a$ ,  $b$  และ  $c$ ) สำหรับทุกกลุ่มความสามารถของผู้เข้าสอบ นั่นคือ โด่งคุณลักษณะข้อสอบมีความคงที่ข้ามกลุ่มผู้สอบ

#### 6.5 ฟังก์ชันสารสนเทศของข้อสอบและแบบทดสอบ (Item and Test Information)

สารสนเทศข้อสอบเป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพข้อสอบ ซึ่งจะให้ค่าสูงสุดเมื่อข้อสอบมีค่าความยากของข้อสอบใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบ มีค่าอำนาจจำแนกสูง และมีค่าการเดาของข้อสอบน้อยมากจนเข้าใกล้ศูนย์ ค่าสารสนเทศของข้อสอบแสดงเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้ (Wainer et al., 2000, p. 73)

$$I_i(\theta) = \frac{[P_i'(\theta)]^2}{P_i(\theta)Q_i(\theta)} \quad (15)$$

เมื่อ  $I_i(\theta)$  = สารสนเทศที่ได้รับจากข้อสอบข้อที่  $i$  สำหรับผู้สอบที่มีความสามารถ  $\theta$

$P_i'(\theta)$  = อนุพันธ์ของ  $P_i(\theta)$  หรือความชันของฟังก์ชันการตอบสนองข้อสอบข้อที่  $i$  ณ ตำแหน่งความสามารถ  $\theta$

$P_i(\theta)$  = ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีความสามารถ  $\theta$  ตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง

$Q_i(\theta)$  =  $1 - P_i(\theta)$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าสารสนเทศของข้อสอบ ในกรณีที่เป็นโมเดลโลจิสติกแบบสามพารามิเตอร์ สมการที่ 15 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$I_i(\theta) = \frac{D^2 a_i^2 [P_i(\theta) - c_i]^2 Q_i(\theta)}{(1 - c_i)^2 P_i(\theta)} \quad (16)$$

เมื่อ  $I_i(\theta)$  = สารสนเทศที่ได้รับจากข้อสอบข้อที่  $i$  สำหรับผู้สอบที่มีความสามารถ  $\theta$

$P_i(\theta)$  = ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีความสามารถ  $\theta$  ตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง

$Q_i(\theta)$  =  $1 - P_i(\theta)$

$a_i$  = ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ข้อที่  $i$

$c_i$  = ค่าการเดาของข้อสอบ ข้อที่  $i$

$D$  = ค่าคงที่ เท่ากับ 1.7

ค่าสารสนเทศข้อสอบแต่ละข้อ เมื่อนำมารวมเข้าด้วยกัน จะได้ค่าสารสนเทศของแบบทดสอบ ณ ตำแหน่งความสามารถเดียวกัน ให้ความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบว่า เมื่อทำแบบทดสอบทั้งฉบับ ผลการทดสอบบอกถึงผู้สอบมีความสามารถอยู่ ณ ตำแหน่งใด แสดงเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$I(\theta) = \sum_{i=1}^n I_i(\theta) \quad (17)$$

เมื่อ  $I(\theta)$  = สารสนเทศแบบทดสอบสำหรับผู้สอบที่มีความสามารถ  $\theta$   
 $I_i(\theta)$  = สารสนเทศที่ได้รับจากข้อสอบข้อที่  $i$  สำหรับผู้สอบที่มีความสามารถ  $\theta$   
 $N$  = จำนวนข้อสอบในแบบทดสอบ

#### 6.6 การประเมินประสิทธิภาพการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ

ประสิทธิภาพการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ หมายถึง ความสามารถของวิธีกำหนดในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบมากที่สุด ซึ่งการประมาณค่าความสามารถว่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือค่าความลำเอียงเฉลี่ย ซึ่งมีนักวิชาการหลายท่านที่นำค่าทั้ง 3 นี้ มาใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ของวิธีการต่าง ๆ ในการดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการคัดเลือกข้อสอบ ข้อถัดไป วิธีการควบคุมการใช้ข้อสอบ หรือวิธีการควบคุมสัดส่วนเนื้อหาของข้อสอบ นักวิชาการเหล่านั้น ได้แก่ Belov, Armstrong, and Weissman (2008); Cheng and Chang (2009); Cheng, Chang, Douglas, and Guo (2009); Hau and Chang (2001) และ Leung et al. (2002, 2003)

6.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) หมายถึง ค่าบอกความถูกต้องของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ แสดงเป็นผลต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าประมาณความสามารถและค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ซึ่งค่า MSE ขนาดเล็กบ่งชี้ถึงการประมาณค่าความสามารถมีความแตกต่างจากค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบน้อยมาก สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Yan, von Davier, & Lewis, 2014, p. 115)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2 \quad (18)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนผู้สอบทั้งหมด  
 $\hat{\theta}_i$  = ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $i$   
 $\theta_i$  = ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $i$

6.6.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) หมายถึง ค่าบอกความถูกต้องของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ แสดงเป็นค่ารากที่สองของผลต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าประมาณความสามารถและค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ นั่นคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ดังนั้นค่า RMSE ขนาดเล็กบอกรถึงการประมาณค่าความสามารถมีความแตกต่างจากค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบน้อยมาก (Yan et al., 2014, p. 115)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2} \quad (19)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนผู้สอบทั้งหมด  
 $\hat{\theta}_i$  = ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $i$   
 $\theta_i$  = ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $i$

6.6.3 ค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) หมายถึง ค่าบอกความเที่ยงตรงของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ แสดงเป็นผลต่างเฉลี่ยระหว่างค่าประมาณความสามารถและค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ สามารถบอกทิศทางการประมาณค่าว่าให้ผลสูงหรือต่ำกว่าค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ถ้าค่าความลำเอียงเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์ จะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Yan et al., 2014, p. 115)

$$Average\ Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i) \quad (20)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนผู้สอบทั้งหมด  
 $\hat{\theta}_i$  = ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $i$   
 $\theta_i$  = ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $i$

## 6.7 การประเมินประสิทธิภาพของการใช้ข้อสอบในคลังข้อสอบ

ประสิทธิภาพของการใช้ข้อสอบในคลังข้อสอบ หมายถึง ความสามารถของวิธีกำหนดที่ทำให้ข้อสอบทุกข้อในคลังข้อสอบมีโอกาสนำไปใช้ในการทดสอบ โดยพิจารณาจากอัตราการใช้ข้อสอบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนการใช้ข้อสอบต่อจำนวนผู้สอบทั้งหมด หากข้อสอบข้อใดมีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.2 ข้อสอบข้อนั้น จะเป็นข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบสูง (Over-Exposure Item) อัตราการใช้ข้อสอบคำนวณได้ดังนี้ (Ozturk & Dogan, 2015)

$$\text{อัตราการใช้ข้อสอบ} = \frac{\text{จำนวนการใช้ข้อสอบ}}{\text{จำนวนผู้สอบทั้งหมด}} \quad (21)$$

คลังข้อสอบใดประกอบด้วยข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบสูงจำนวนมาก แสดงว่าในการทดสอบจะมีข้อสอบบางข้อถูกจัดให้ผู้สอบใช้ในการทดสอบบ่อยครั้งจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อ

ความปลอดภัยในการทดสอบ เพราะผู้สอบในรุ่นถัดไปสามารถคาดเดาล่วงหน้าได้ว่าตนเองจะได้ข้อสอบข้อใด ดังนั้น จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.2 จึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในด้านการควบคุมการใช้ข้อสอบ (van der Linden & Glas, 2002, pp. 45-47) ด้วยเหตุนี้ การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ นอกจากคำนึงถึงการคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากของข้อสอบเหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการควบคุมการใช้ข้อสอบ (Item Exposure Control) ไม่ให้มีหรือให้มีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.2 จำนวนน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ วิธีการควบคุมการใช้ข้อสอบมีหลายวิธีการ เช่น วิธี 5-4-3-2-1, วิธีการซิมชันเฮกเตอร์ หรือวิธีการ a-Stratified Strategy (Chang & Ying, 1999; McBride & Martin, 1983; Sympson & Hetter, 1985)

### 7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการเลือกข้อสอบข้อถัดไปนับว่าเป็นขั้นตอนที่เป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยจุดมุ่งหมายของการเลือกข้อสอบเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบมากที่สุด รวมถึงรักษาความปลอดภัยของข้อสอบ (Reckase, 2009, p. 311) หากใช้วิธีในการเลือกข้อสอบที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะส่งผลให้ได้ข้อสอบที่ใช้ทดสอบไม่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบอย่างแท้จริงเกิดความคลาดเคลื่อนของความสามารถของผู้สอบสูงทำให้ใช้จำนวนข้อสอบและเวลาในการทดสอบมากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีนักวิจัยพยายามที่จะคิดค้นหาวิธีพัฒนาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในแนวทางใหม่ๆ เพื่อให้การเลือกข้อสอบดังกล่าวมีความเหมาะสมกับความสามารถของผู้ทดสอบอย่างแท้จริง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกข้อสอบสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์อยู่จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มของงานวิจัยตามลักษณะของกระบวนการออกแบบการคัดเลือกข้อสอบได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผู้วิจัยคิดวิธีการสร้างสมการเพื่อใช้ในการคัดเลือกข้อสอบ ซึ่งสมการดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปแบบของ Deterministic หรือ Stochastic ภายในสมการประกอบด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์หรือค่าสารสนเทศต่าง ๆ ของข้อสอบ จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมการไปใช้เป็นปัจจัยในการเลือกข้อสอบภายใต้เงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนด

กลุ่มที่ 2 การจัดหมวดหมู่ข้อสอบโดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Item Classification) วิธีการในกลุ่มนี้จะเป็นการใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในการจัดหมวดหมู่ข้อสอบให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมอย่างอัตโนมัติ (Optimization) และให้ผู้สอบดำเนินการทำข้อสอบแต่ละข้อตามทิศทางที่กำหนดไว้

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวผู้วิจัยได้สรุปไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

7.1 งานวิจัยในกลุ่มของการสร้างสมการในรูปแบบ Deterministic และ Stochastic เพื่อทำการตัดสินใจเลือกข้อสอบข้อถัดไป

โสฬส สุขานนท์สวัสดิ์, เสรี ชัดเข้ม และกฤษณะ ชินสาร (2556) ได้นำเสนอวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ ดังสมการที่ 22

$$EMV(i) = \sum_{i=1}^n (P(O_i) \times O_i) \quad (22)$$

เมื่อ

- $EMV(i)$  คือ ค่าความคาดหวังสูงสุดของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $P(O_i)$  คือ ความน่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $O_i$  คือ ผลตอบแทนที่ได้ภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $n$  คือ จำนวนเหตุการณ์

หลังจากหาค่า EMV ของแต่ละเหตุการณ์จากสมการที่ 22 แล้วจึงหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละเหตุการณ์จากสมการที่ 23

$$\sigma_{EMV(i)} = \sqrt{\sum_{i=0}^n ((O_i - EMV(O_i))^2 \times P(O_i))} \quad (23)$$

เมื่อ

- $\sigma_{EMV}^{(i)}$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $EMV(O_i)$  คือ ค่าความคาดหวังสูงสุดของเหตุการณ์ที่  $O_i$   
 $P(O_i)$  คือ ความน่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์ที่  $O_i$   
 $O_i$  คือ ผลตอบแทนที่ได้ภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์  $i$   
 $n$  คือ จำนวนเหตุการณ์

หลังจากได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละเหตุการณ์จากสมการที่ 23 แล้ว จึงนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแต่ละเหตุการณ์ตามสมการที่ 24

$$CV(i) = \frac{\sigma_{EMV(i)}}{EMV_i} \quad (24)$$

เมื่อ

- $CV(i)$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $\sigma_{EMV(i)}$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $EMV_i$  คือ ค่าความคาดหวังสูงสุดของเหตุการณ์ที่  $i$

หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแต่ละเหตุการณ์จากสมการที่ 24 แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมาพิจารณาคัดเลือกเหตุการณ์ที่มีความเหมาะสม (ขึ้นอยู่กับให้นำไปใช้ในแต่

ละกรณี) จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอตั้งกล่าวกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบในด้านของจำนวนข้อสอบและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ผลการเปรียบเทียบพบว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่า

ประพล เปรมทองสุข, เสรี ชัดเข้ม และปิยะทิพย์ ประดุงพรม (2560) ได้นำเสนอการเกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์หนึ่งภายใต้ทฤษฎีการตัดสินใจในสภาวะการที่ไม่แน่นอน มาใช้คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (SEE) ของข้อสอบทุกข้อในคลังข้อสอบ ที่ยังไม่ถูกเลือกใช้ในการทดสอบ โดยคำนวณค่า SEE ทั้งในกรณีที่คาดว่าผู้สอบจะตอบข้อสอบถูก และกรณีที่คาดว่าผู้สอบจะตอบข้อสอบผิด แล้วนำค่า SEE ทั้งสองกรณี มาคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่า SEE จากนั้นตัดสินใจเลือกข้อสอบข้อที่มีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่า SEE ต่ำสุด เป็นข้อสอบข้อถัดไป ตามกระบวนการนี้ เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป เนื่องจาก ผู้สอบจะได้รับข้อสอบที่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ (เป็นข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยของค่า SEE ต่ำ) นอกจากนี้ เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์เป็นเกณฑ์ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับเกณฑ์อื่น ๆ ในทฤษฎีการตัดสินใจในสภาวะการที่ไม่แน่นอน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Groenewald and Pretorius (2011) ที่ได้ศึกษากลยุทธ์ในการตัดสินใจเลือกพอร์ตการลงทุน โดยใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกันของการตัดสินใจในสภาวะการที่ไม่แน่นอน ผลปรากฏว่า การตัดสินใจโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์ให้ผลตอบแทนรายเดือนของตลาดเงิน (The Monthly Returns of the Money Market) ที่เหมาะสมที่สุด

Veerkamp and Berger (2006) ได้นำเสนอการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศฟิชเชอร์ที่มีการถ่วงน้ำหนัก (Fisher Interval Information: FII) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศถ่วงน้ำหนักทั่วไป (General Weighted Information Criterion: GWIC) เป็นการนำค่าสารสนเทศของฟิชเชอร์ที่มากเกินไปจนช่วงระดับคุณลักษณะมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) โดยเลือกข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักสูงสุดมาเป็นข้อสอบข้อถัดไปคำนวณได้ ตามสมการที่ 25

$$GWIC_j(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} W(\theta) I_j d\theta \quad (25)$$

เมื่อ

$w(\theta)$  คือ ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก

$I_j(\theta)$  คือ สารสนเทศของฟิชเชอร์

Chang and Ying (2008) ได้นำเสนอการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศคูลเบค-ไลเบลเลอร์ (Kullback-Leibler Information: KL) เป็นฟังก์ชันที่แปลงค่าความสามารถของผู้สอบเป็นค่าความสามารถของผู้สอบที่แท้จริงตามข้อสอบ  $n$  ข้อและพื้นที่ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อสอบ โดยมีฟังก์ชัน ตามสมการที่ 26



$$KL_j(\hat{\theta}) = \int_{-\infty}^{\infty} KL_j(\theta||\hat{\theta})d\theta \quad (26)$$

เมื่อ

$$(\hat{\theta}_l, \hat{\theta}_u) = \left( \hat{\theta} - \frac{z}{\sqrt{n}} \hat{\theta} + \frac{z}{\sqrt{n}} \right), \frac{z}{\sqrt{n}} \text{ คือ } \text{ลิมิตความเชื่อมั่น (Confidence Limit)}$$

Veldkamp and Van der Linden (2009) ได้นำเสนอการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยใช้สารสนเทศคูล-ไลเบอร์ที่มีการแจกแจงภายหลัง (Kullback-Leibler Information with a Posterior Distribution: KLP) เป็นฟังก์ชันที่แก้ไขฟังก์ชันสารสนเทศฟิชเชอร์ในค่าสารสนเทศคูล-ไลเบอร์โดยคัดเลือกข้อสอบที่มีค่า KLP สูงสุดเป็นข้อสอบข้อถัดไป ตามสมการที่ 27

$$KL_j(\hat{\theta}) = \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta|U_n)KL_j(\theta||\hat{\theta})d\theta \quad (27)$$

เมื่อ

$P(\theta|U_n)$  คือ การแจกแจงคุณลักษณะภายหลัง หลังจากข้อสอบ  $n$  ข้อ ถูกใช้สอบ

$$(\hat{\theta}_l, \hat{\theta}_u) = \left( \hat{\theta} - \frac{z}{\sqrt{n}} \hat{\theta} + \frac{z}{\sqrt{n}} \right), \frac{z}{\sqrt{n}} \text{ คือ } \text{ลิมิตความเชื่อมั่น (Confidence Limit)}$$

Chen and Ankenmann (2009) ได้คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศของฟิชเชอร์ที่มีการแจกแจงภายหลัง (Fisher Information with a Posterior Distribution: FIP) เป็นการกำหนดการแจกแจงหลังจากหาค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมในการพิจารณาคุณสมบัติทั้งหมด โดยจะคัดเลือกข้อสอบที่มีค่า FIP สูงสุด มาเป็นข้อสอบข้อถัดไป ตามสมการที่ 28

$$FIP_j(X_n) = GWIC_j(X_n) = \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta|X_n)I_jd\theta \quad (28)$$

เมื่อ

$P(\theta|X_n)$  คือ การแจกแจงคุณลักษณะภายหลังจากข้อสอบ  $n$  ข้อถูกใช้สอบ  
 $I_j(\theta)$  คือ สารสนเทศของฟิชเชอร์สำหรับข้อสอบข้อที่  $j$

Han (2009) ได้ศึกษาวิธีอัตราส่วนของค่าสารสนเทศสูงสุดในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปซึ่งเปรียบเทียบกับอีก 2 วิธี คือ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยการสุ่ม และ 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศของฟิชเชอร์สูงสุด (Maximum Fisher Information: MFI) โดยมีข้อสอบในคลังจำนวน 500 ข้อ ผลการศึกษาปรากฏว่า วิธีอัตราส่วนของค่าสารสนเทศสูงสุดในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปมีประสิทธิภาพด้านการบริหารจัดการคลังข้อสอบมากกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยการสุ่ม และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้

ค่าสารสนเทศของฟิชเชอร์สูงสุด (MFI) ซึ่งสามารถสร้างความสมดุลของคลังข้อสอบได้ และช่วยลดจำนวนข้อสอบ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานให้น้อยลงได้

Fernando and Dalton (2009) ได้เปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี คือ 1) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถ (Maximum Information Criterion: MI) 2) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศทั้งหมด (Kullback-Leible Criterion: KL) และ 3) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ที่คาดหวังสูงสุด (Maximum Expected Information Criterion: MEI) ศึกษาจากข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษที่อยู่ในคลังข้อสอบจำนวน 246 ข้อ โดยศึกษาในกรณีที่แตกต่างกัน 5 กรณี คือ 1) จำนวนข้อสอบที่ใช้ในการประเมินความสามารถของผู้สอบ 2) คำตอบที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างโดยมีการกำหนดความสามารถเริ่มต้น ระดับความยากของข้อสอบเริ่มต้น และยุติการทดสอบ 3) ความแตกต่างของแต่ละวิธีโดยกำหนดค่าความสามารถเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 4) คุณภาพของข้อสอบข้อถัดไปโดยกำหนดความสามารถเริ่มต้นที่แตกต่างกัน และ 5) ความแตกต่างโดยการกำหนดค่าความสามารถเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 10 กรณี ผลการศึกษาปรากฏว่าทั้ง 5 วิธีมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน

Han (2010) ได้นำเสนอการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ประสิทธิภาพของสารสนเทศ (Efficiency Balanced Information: EBI) เป็นวิธีเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยพิจารณาจากการประเมินช่วงของค่าความสามารถของผู้สอบ ซึ่งประเมินจากประสิทธิภาพของค่าสารสนเทศ ซึ่งหาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่คาดว่า จะเกิดขึ้นจากค่าความสามารถของผู้สอบหลังจากผู้สอบตอบข้อสอบข้อที่  $j$  แล้ว โดยเลือกข้อสอบที่มีค่า EBI สูงสุดเป็นข้อสอบข้อถัดไปคำนวณได้ ตามสมการที่ 29

$$EBI_i[\hat{\theta}_i] = \left(1 + \frac{1}{I_i[\hat{\theta}_i]}\right) \int_{\hat{\theta}_j - 2\varepsilon_j}^{\hat{\theta}_j + 2\varepsilon_j} I_i[\theta] d\theta \quad (29)$$

การเลือกข้อสอบด้วยวิธีนี้ ข้อสอบที่ถูกเลือกจะมีค่า EBI ต่ำกว่าค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) เมื่อเริ่มต้นการทดสอบและจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ

Chuan (2011) ได้ศึกษาข้อจำกัดของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความถูกต้องของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 4 วิธี คือ 1) Fisher Information (FI) 2) Kullback-Leible Information (KLI) 3) Eeighted Log-Odds Ratio (WLOR) และ 4) Mutual Information (MI) โดยศึกษา 3 ประเด็น คือ 1) ขั้นตอนของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 2) กลไกที่ใช้ในการเลือกข้อสอบข้อถัดไป และการควบคุมความสมดุลเนื้อหา และ 3) ขั้นตอนการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปรวมกับการควบคุมความสมดุลเนื้อหา และควบคุมการเปิดเผยข้อสอบ โดยพิจารณาจากผลของค่าการกระจาย และระดับของการขาดสมดุล ผลการศึกษาปรากฏว่าทั้ง 4 วิธี มีข้อจำกัดแตกต่างกัน โดยวิธี MI มีค่า

การกระจายและระดับของการขาดสมดุลที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี FI วิธี WLOR และวิธี KLI โดยมี MI มีความน่าสนใจในรูปแบบทั่วไปในรูปแบบทั่วไปในการเลือกข้อสอบข้อถัดไป

Eduardo and Jesse (2011) ได้นำเสนอการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory) โดยศึกษาวิธีการตัดสินใจภายใต้ความเสี่ยง (Decision Making Under Risk) ตามเกณฑ์ทางเลือกที่มีค่าความคาดหวังสูงสุด (Maximum Expected Monetary Value: EMV) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายมาประยุกต์ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการนำค่าประมาณความสามารถของผู้สอบก่อนที่จะตอบข้อสอบที่มีอยู่ในคลังข้อสอบ กรณีที่คาดว่าผู้สอบจะตอบข้อสอบข้อนั้นถูกและกรณีที่คาดว่าจะตอบข้อสอบข้อนั้นผิด มาพิจารณาคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปพร้อมกันโดยไม่นำข้อสอบที่ใช้ไปแล้วมาพิจารณา โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ด้านจำนวนข้อที่ใช้ในการทดสอบและด้านเวลาที่ใช้ในการทดสอบระหว่างวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุดที่ใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 30

$$EMV(i) = \sum_{i=1}^n (P(O_i) \times O_i) \quad (30)$$

เมื่อ

- $EMV(i)$  คือ ค่าความคาดหวังสูงสุดของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $P(O_i)$  คือ ความน่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $O_i$  คือ ผลตอบแทนที่ได้ภายใต้เงื่อนไขของเหตุการณ์ที่  $i$   
 $n$  คือ จำนวนเหตุการณ์

Han (2012) ได้นำเสนอวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ประสิทธิภาพของข้อมูลเพื่อหาวิธีการคัดเลือกข้อสอบที่มีการรักษาความสมดุลของเนื้อหาโดยใช้การเปรียบเทียบ 2 วิธี คือ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศของฟิชเชอร์สูงสุด (Maximum Fisher Information: MFI) และ 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยวิธีการแบ่งชั้น (Stratification Methods) ผลการศึกษาปรากฏว่า วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ประสิทธิภาพของข้อมูลมีการรักษาความสมดุลของเนื้อหาดีกว่าวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้สารสนเทศของฟิชเชอร์สูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยวิธีการแบ่งชั้น

Yen and Chen (2012) ได้นำเสนอการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยลดผลกระทบของข้อสอบที่ไม่เหมาะสมโดยใช้วิธีวิธี 4PL IRT เสนอโดย ดังสมการที่ 31

$$P_{4PL}(\theta) = c + (\delta - c)P_{2PL}(\theta) \quad (31)$$

Koedsri and Lawthong (2014) ได้นำเสนอการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธี Variable-Length Item Selection ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธี Constraint-weighted A-Stratification เพื่อควบคุมให้กระบวนการเลือกข้อสอบเป็นไปอย่างสมดุล สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 32

$$I(\theta_i, \gamma_{id(j)}) = a_j^2 \left[ \frac{\exp(a_j(\theta_i - b_j - \gamma_{id(j)}))}{1 - \exp(a_j(\theta_i - b_j - \gamma_{id(j)}))} \right] \frac{1 - c_j}{c_j + \exp(a_j(\theta_i - b_j - \gamma_{id(j)}))} \quad (32)$$

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวมาข้างต้นนั้นพบว่า งานวิจัยในกลุ่มของการสร้างสมการในรูปแบบ Deterministic และ Stochastic เพื่อตัดสินใจเลือกข้อสอบข้อถัดไป ข้อจำกัดของวิธีการเลือกข้อสอบในกลุ่มนี้คือเนื่องจากสมการที่สร้างขึ้นมาใช้เลือกข้อสอบไม่ได้สร้างขึ้นจากปัญหานั้น ๆ โดยตรงอาจส่งผลให้สมการไม่สอดคล้องหรือไม่เหมาะสมกับบางปัญหา นอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังขาดความยืดหยุ่นต่อปัญหาในมุมมองของการเลือกข้อสอบเนื่องจากวิธีการได้ระบุทิศทางในการค้นหาคำตอบไว้ตายตัว กระบวนการไม่มีโอกาสค้นหาคำตอบใหม่ๆ ทำให้เสียโอกาสที่จะพบคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมกว่า ส่งผลให้เกิดปัญหาอัตราการใช้ข้อสอบซ้ำหรือถูกใช้บ่อยเกินไปและปัญหาข้อสอบไม่ถูกใช้งานเลยมีสูง ข้อสอบที่ถูกใช้มากเกินไปทำให้ผู้สอบเกิดการเรียนรู้หรือข้อสอบเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในกลุ่มผู้สอบ เสี่ยงต่อความปลอดภัยของข้อสอบและสูญเสียคุณสมบัติทางจิตวิทยาการทดสอบจากความเที่ยงตรงของข้อสอบลดลง

## 7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ในการเลือกข้อสอบ

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีนักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งได้นำเสนอการจัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยการจัดหมวดหมู่ข้อสอบโดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Item Classification) ซึ่งยังไม่เป็นที่แพร่หลาย วิธีการในกลุ่มนี้จะเป็นการใช้เทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในการจัดหมวดหมู่ข้อสอบให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดเช่นต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้แก่ Bayesian networks, Genetic Algorithms และ Fuzzy Inference ความสามารถของวิธีดังกล่าวจะมีกระบวนการออกแบบให้ระบบสามารถคิดวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้เองอย่างอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ได้อย่างครอบคลุม อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่าง ๆ ในกลุ่มปัญญาประดิษฐ์นี้ล้วนแล้วแต่มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการเพื่อคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีความเหมาะสมที่สุดกับระดับความสามารถของผู้สอบพร้อมทั้งควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสมและยอมรับได้ ดังต่อไปนี้

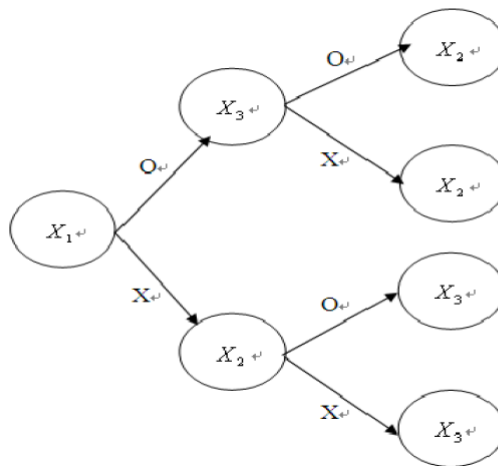
Karahora and Ince (2009) ได้นำเสนอวิธีจัดกลุ่มข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยประยุกต์ใช้วิธี Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS) ซึ่งในกระบวนการจะทำการจัดข้อสอบในคลังข้อสอบทั้งหมดออกเป็น 5 ระดับดังนี้

1) ง่ายมาก (Very Easy) แทนด้วยตัวเลข -1, 2) ง่าย (Easy) แทนด้วยตัวเลข -0.5, 3) ปานกลาง (Medium) แทนด้วยตัวเลข 0, 4) ยาก (Hard) แทนด้วยตัวเลข 0.5 และ 5) ยากมาก (Very Hard) แทนด้วยตัวเลข 1

จากนั้นนำผลการจัดกลุ่มข้อสอบด้วยวิธีดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับความเร็วและความถูกต้องกับอีก 2 วิธีคือ Artificial Neural Network (ANN) และ Support Vector Machines

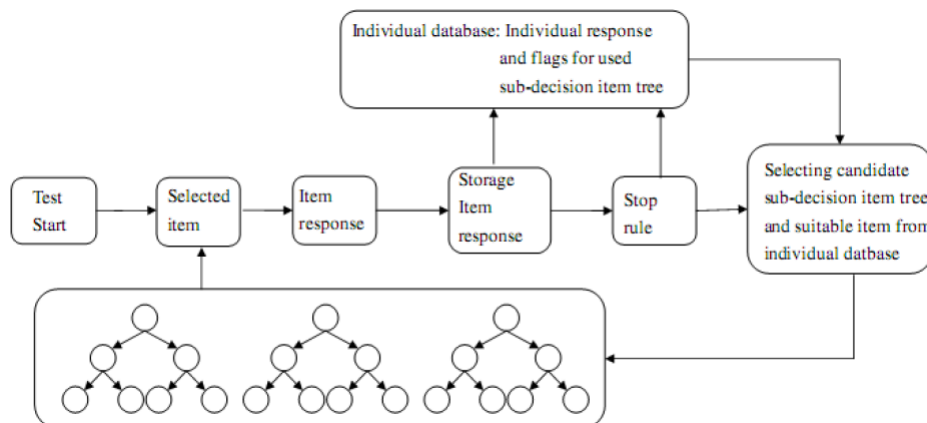
(SVM) พบว่ามีผลลัพธ์ของแต่ละวิธีเป็นดังนี้ ANFIS = 0.99, ANN = 0.74 และ SVM = 0.79 จึงสรุปได้ว่าวิธี ANFIS ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มข้อสอบมากกว่าอีก 2 วิธีดังกล่าว

Yu Hsieh and Chen Kuo (2010) ได้นำเสนอการเลือกข้อสอบในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธี Blocking Strategy โดยอาศัยทฤษฎีของ Bayesian Network ในหลักการที่สำคัญคือจะจัดกลุ่มข้อสอบโดยใช้ทฤษฎีของ Bayesian Network ให้อยู่ในรูปแบบของ Decision Tree ประเภท Binary Tree ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 Decision Item Tree Network (Yu Hsieh & Chen Kuo, 2010, p. 1161)

จากภาพที่ 2-5 หากผู้สอบทำข้อสอบข้อที่  $X_1$  ถูกข้อสอบข้อถัดไปที่ต้องทำคือ ข้อที่  $X_3$  ในทางตรงกันข้ามหากทำข้อที่  $X_1$  ผิด ข้อสอบข้อถัดไปที่ต้องทำคือข้อที่  $X_2$  ทำลักษณะนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบเงื่อนไขการทดสอบ ในส่วนของ Blocking Strategy ที่นำเสนอแสดงได้ดังภาพที่ 2-6



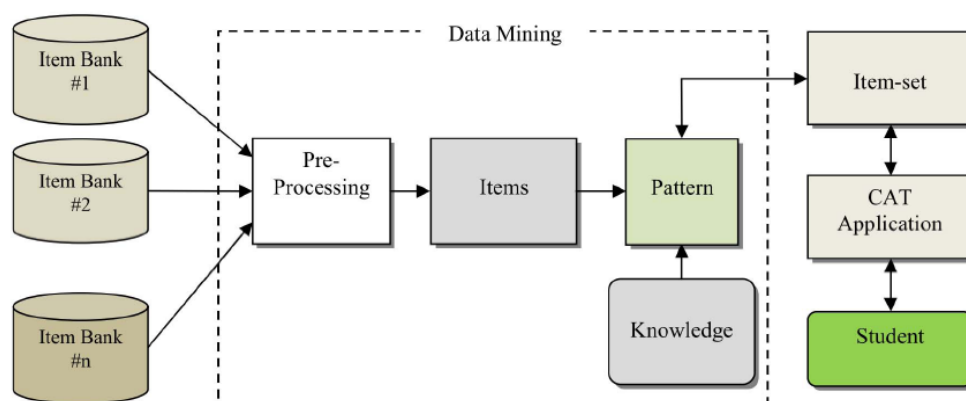
ภาพที่ 2-6 CAT Based on Decision Item Subtree (Yu Hsieh & Chen Kuo, 2010, p. 1164)

จากภาพที่ 2-6 พบว่าผู้วิจัยได้ออกแบบการแบ่งข้อสอบในคลังข้อสอบออกเป็น 100 block แต่ละ block ดังกล่าว จะให้ผู้สอบทำข้อสอบ 3 ข้อต่อ 1 ชุดข้อสอบ ซึ่งจะต้องจัดวางข้อสอบบน Decision Item Tree Network ซึ่งเป็น Subtree ย่อย ๆ จำนวน 7 ข้อต่อ 1 ชุดข้อสอบ จากนั้นนำผลการทดสอบของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธี Experts's Classification พบว่าวิธีวิธี Blocking Strategy โดยอาศัยทฤษฎีของ Bayesian Network ให้ประสิทธิภาพดีกว่าโดยการใช้จำนวนข้อสอบในการทดสอบได้น้อยกว่า

Kim and Choi (2012) ได้นำเสนอวิธีการนำทฤษฎี Bayesian Network ไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งวิธีใหม่นี้สามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วโดยเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอดังกล่าวกับวิธีการทดสอบแบบใช้กระดาษ (Paper-Based Test) และการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบเดิม

Phankokkrud (2012) ได้นำเสนอการใช้กฎความสัมพันธ์ (Association Rules) ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้านเหมืองข้อมูล (Data Mining) มาใช้ในการจัดกลุ่มข้อสอบจากหลายคลังข้อสอบที่มีรูปแบบ (Platform) แตกต่างกันให้สามารถใช้งานร่วมกันได้

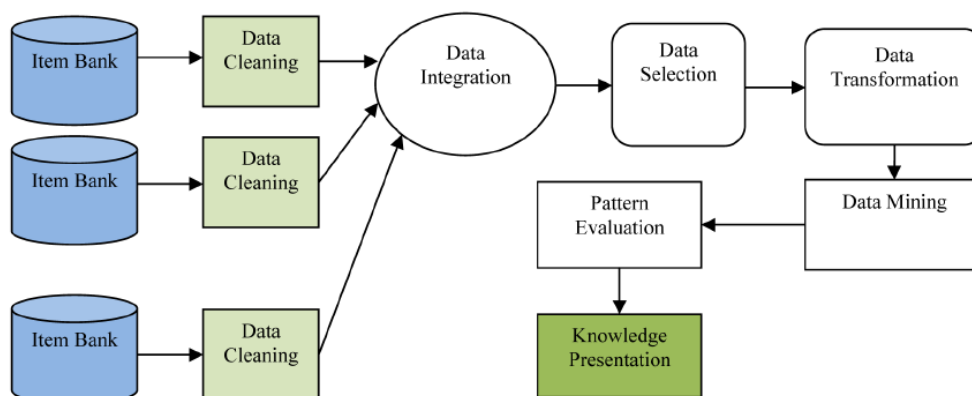
เนื่องจากโดยปกติแล้วคลังข้อสอบที่ใช้ในระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ของแต่ละระบบนั้นจะถูกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลซึ่งระบบฐานข้อมูลดังกล่าวจะมีการออกแบบโครงสร้างข้อมูลมารองรับกับข้อมูลที่จัดเก็บแตกต่างกันจึงทำให้ไม่สามารถนำสอบในแต่ละคลังข้อสอบมาใช้งานร่วมกันได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยดังกล่าวที่ใช้เทคนิคทางด้านเหมืองข้อมูลมาดำเนินการให้สามารถใช้อ้างอิงข้อมูลดังกล่าวร่วมกันได้ และจัดเรียงข้อสอบในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อส่งให้ผู้ทดสอบได้ทำ ซึ่งภาพรวมของระบบที่นำเสนอแสดงได้ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ภาพรวมของกระบวนการทำเหมืองข้อมูลเพื่อจัดเตรียมกลุ่มข้อสอบให้ผู้ทดสอบ (Phankokkrud, 2012, p. 464)

จากภาพที่ 2-7 จะพบว่า มีการนำระบบเหมืองข้อมูลมาเป็นระบบจัดการข้อสอบระหว่างคลังข้อสอบที่หลากหลายในระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้กลุ่ม

ข้อสอบที่เหมาะสมกับผู้ทดสอบซึ่งรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ ของวิธีเหมืองข้อมูลในการจัดการกับข้อมูลแสดงได้ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 ขั้นตอนหลักในการทำกระบวนการทำเหมืองข้อมูล (Phankokkrud, 2012, p. 465)

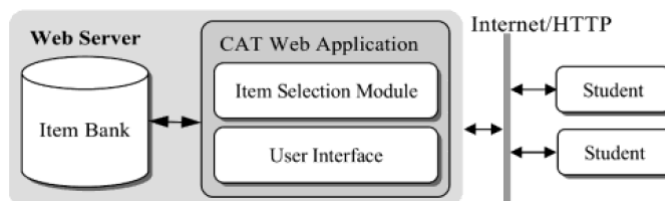
จากภาพที่ 2-8 ขั้นตอนของการทำเหมืองข้อมูลประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้

1) Data Cleaning เป็นขั้นตอนการกำจัดข้อมูลที่ไม่ต้องการหรือไม่สอดคล้องตรงกันออกไปเหลือแต่ข้อมูลที่มีรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ต่อไปได้ 2) Data Integration เป็นขั้นตอนการรวมข้อมูลที่ต่างรูปแบบกันประกอบเข้าด้วยกัน 3) Data Selection เป็นขั้นตอนการเลือกข้อสอบจากฐานข้อมูลที่มีค่าที่สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนจัดเรียงข้อสอบต่อไป 4) Data Transformation การเปลี่ยนรูปข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบพร้อมที่จะทำเหมืองข้อมูล 5) Data Mining เป็นขั้นตอนการค้นหารูปแบบของข้อสอบที่เหมาะสมกับระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ 6) Pattern Evaluation การสร้างรูปแบบของข้อสอบภายใต้พารามิเตอร์ของการประเมินผลและกฎความสัมพันธ์ และ 7) Knowledge Presentation ข้อสอบจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มข้อสอบ ดังนั้นกลุ่มข้อสอบดังกล่าวจะเป็นข้อมูลที่พร้อมที่จะนำไปใช้ทำการทดสอบกับผู้สอบในระบบ CAT ต่อไป

จากผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถนำข้อสอบจากหลากหลายคลังข้อสอบมาจัดรวมกันและส่งให้ผู้สอบทำได้อย่างเหมาะสมกับความสามารถของผู้ทดสอบ

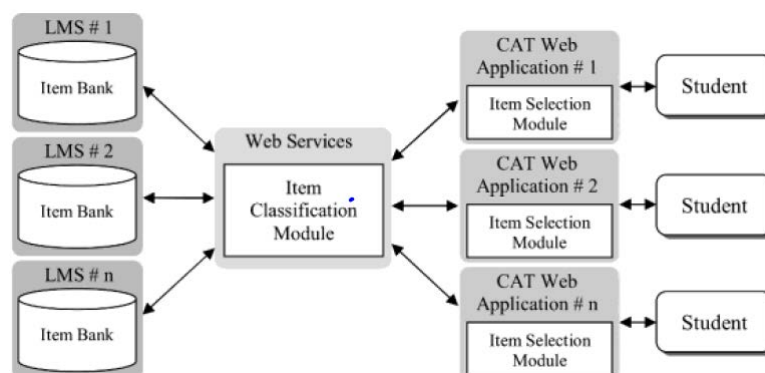
Phankokkrud and Woraratpanya (2012) ได้นำเสนอวิธีการการจัดหมวดหมู่ข้อสอบ (Item Classification Algorithms) จากคลังข้อสอบ (Item Bank) โดยใช้เทคนิคของ Triangle-Decision Tree (TDT) ร่วมกับวิธีทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms: GA) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะพัฒนาอยู่ในรูปแบบของ Web Service

โดยปกติทั่วไปนั้นระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Adaptive Testing: CAT) มีลักษณะการออกแบบระบบดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012, p. 836)

จากภาพที่ 2-9 จะเห็นว่าการเลือกข้อสอบให้ผู้สอบทำนั้น Item Selection Module จะต้องเลือกจากคลังข้อสอบโดยตรงตามวิธีการเลือกข้อสอบ (Item Selection) ที่กำหนดไว้ของแต่ละระบบ CAT จากนั้นจะทำการแสดงข้อสอบให้ผู้ถูกทดสอบทำที่หน้าจอ User Interface ในขณะที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบ CAT แบบใหม่ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีระบบ Web Service (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012, p. 836)

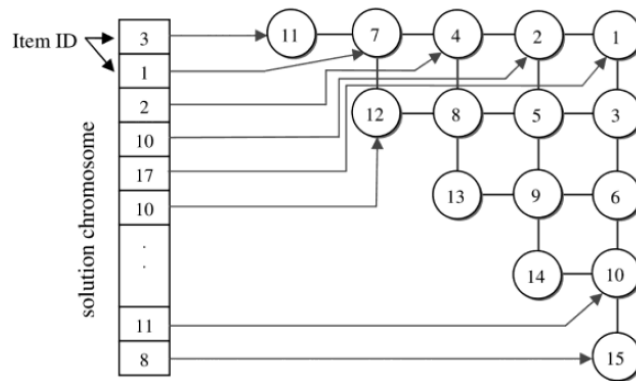
จากภาพที่ 2-10 ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบ Web Service ขึ้นมาเพื่อทำงานประสานกันระหว่างระบบคลังข้อสอบกับระบบ CAT Web Application โดยหลักการทำงานคือระบบ Web Service จะทำการจัดหมวดหมู่ข้อสอบโดยใช้ค่า IRT Parameters เป็นเกณฑ์ โดยข้อสอบที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่ดังกล่าวจะดึงมาจากคลังข้อสอบ เมื่อจัดหมวดหมู่ข้อสอบเสร็จสิ้นแล้วก็จะส่งต่อไปให้กับการเลือกข้อสอบ (Item Selection Module) ใน CAT Web Application เพื่อให้ผู้สอบนำไปใช้ทดสอบต่อไป

การออกแบบวิธีทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms :GA)

การออกแบบโครโมโซมและการแปลงโครโมโซมให้อยู่ในรูปแบบของ TDT แสดงได้ดัง

ภาพที่ 2-11





ภาพที่ 2-11 การแปลงโครโมโซมให้อยู่ในรูปแบบของ TDT (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012, p. 842)

จากภาพที่ 2-11 ข้อสอบแต่ละข้อที่อยู่ในแต่ละยีนต์ของโครโมโซมจะถูกจัดลำดับการเรียงใน TDT ตามภาพที่ปรากฏเนื่องจากจะทำให้กระบวนการของ GA สามารถคำนวณได้เร็วยิ่งขึ้น สมการที่ใช้วัดค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมแสดงได้ดังสมการที่ 33 – 34

$$f_i = \sqrt{w_a(a_i - a_j)^2 + w_b(b_i - b_j)^2 + w_c(c_i - c_j)^2} \quad (33)$$

เมื่อ

$f_i$  = Fitness value ของคูโหนดใน level  $i, j$

$a, b, c$  = ค่าอำนาจจำแนก ค่าความยาก และค่าการเดา ตามลำดับ

$w_a, w_b, w_c$  = ค่าถ่วงน้ำหนักของค่า  $a, b, c$  ตามลำดับ

$$F = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{n-1} \quad (34)$$

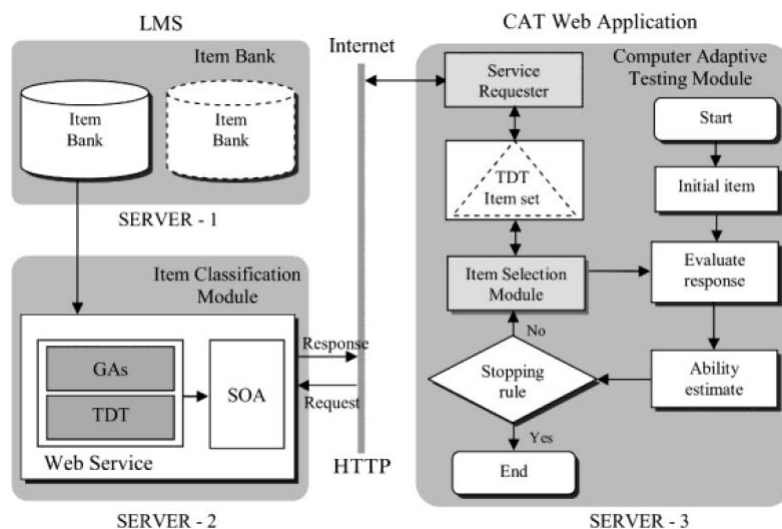
เมื่อ

$F$  = Fitness value ของแต่ละโครโมโซม

$f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{n-1}$  = Fitness value ของคูโหนดใน level  $i, j$  ที่ได้

จาก สมการที่ 33

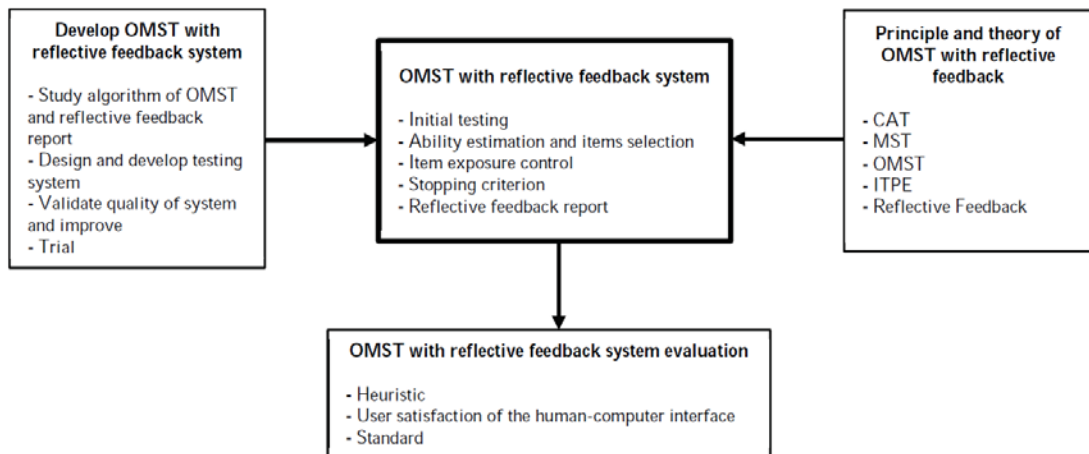
จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปเป็นแผนภาพการออกแบบระบบ CAT ที่สมบูรณ์ที่บทความนี้นำเสนอแสดงได้ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ผังระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012, p. 838)

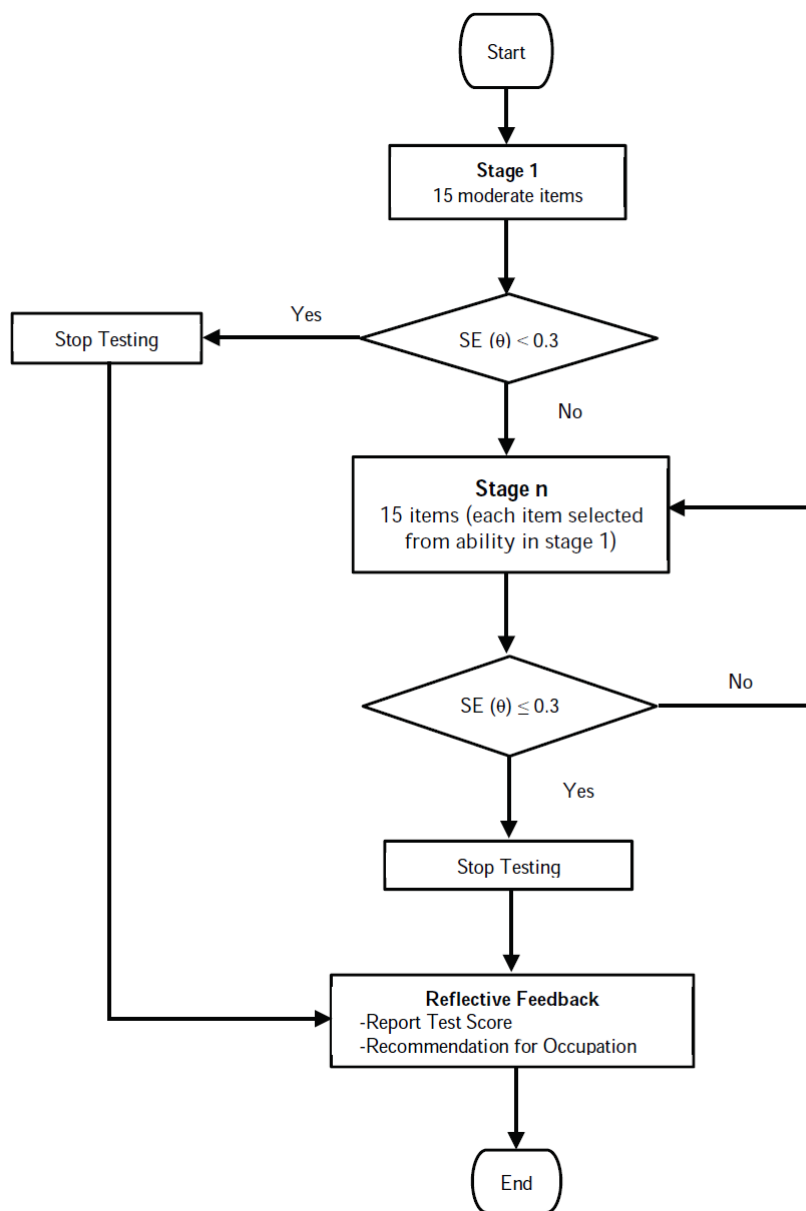
จากภาพที่ 2-12 ระบบจะประกอบไปด้วย 3 Server Server-1 จะเป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้เก็บคลังข้อสอบ Server-2 เป็นระบบการจัดหมวดหมู่ข้อสอบตามค่าพารามิเตอร์ IRT ให้อยู่ในรูปแบบ TDT โดยใช้กระบวนการของ GA แล้วส่งผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปแบบของ TDT Item Set ไปยัง CAT Web Application ใน Server-3 เพื่อดำเนินการตามกระบวนการทดสอบของ CAT ต่อไป

Chaimongkol, Pasiphol and Kanjanawasee (2016) ได้นำเสนอกรอบแนวคิด (Conceptual Framework) ของกระบวนการของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แนวใหม่โดยประยุกต์วิธีของ Zheng and Chang (2014) คือวิธี On-the-Fly Assemble Multistage Adaptive testing หรือ OMST รวมกับ วิธี Reflective Feedback ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการทำงานของ Feedback and Feedforward เข้าด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (Lack of Ability Estimation) ของกระบวนการ CAT แบบเดิม ซึ่งกรอบแนวคิดที่เสนอดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 กรอบแนวคิดของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับ (Chaimongkol et al., 2016, p. 810)

จากกรอบแนวคิดของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับ ในรูปที่ 2-13 สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 ขั้นตอนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับ  
(Chaimongkol et al., 2016, p. 811)

จากภาพที่ 2-14 เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบตามกระบวนการของ CAT ที่นำเสนอแล้ว ระบบการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับ จะรายงานคะแนนที่ผู้ทดสอบทำได้ และแนะนำอาชีพที่เหมาะสมให้กับผู้ทดสอบด้วย

จากงานวิจัยทั้งหมดในกลุ่มปัญญาประดิษฐ์ผู้วิจัยพบว่า วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เป็นวิธีที่มีกระบวนการออกแบบให้ระบบสามารถคิดวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ได้เองอย่างอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้

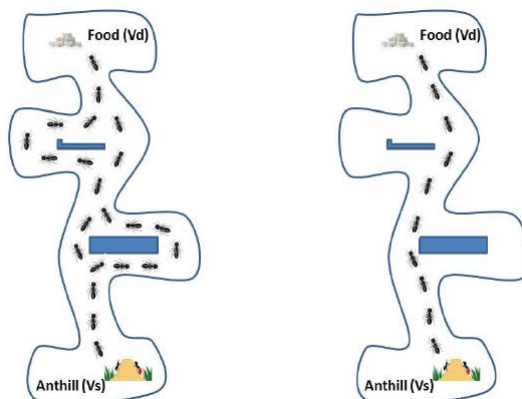
ได้อย่างครอบคลุม ซึ่งวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ประเภทเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ซึ่งมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์มาพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ในการพัฒนาวิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในแนวทางใหม่

## ตอนที่ 2 วิธีระบบอาณานิคมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง (Swarm Intelligence) เป็นการจำลองพฤติกรรมของสัตว์ในธรรมชาติที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มหรือฝูง โดยเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ได้ถูกนำไปรวมไว้ในปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เป็นเทคนิคหนึ่งในสาขาเกี่ยวกับการคำนวณที่ได้นำหลักการทางด้านชีววิทยา (Biologically-inspired computing) เช่นเดียวกับกับเทคนิคการเลียนแบบการทำงานของระบบสมองของมนุษย์ของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และกระบวนการวิวัฒนาการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต (Genetic Algorithm) เป็นต้น วิธีการทำงานของความฉลาดแบบกลุ่มถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการคำนวณหรือการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization) โดยวิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี คืออัลกอริธึมมด (Ant Algorithm) ซึ่งเป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมการหาเส้นทางที่สั้นสำหรับการหาอาหารของฝูงมด และการค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงนกหรือฝูงปลา เป็นต้น ในวิธีการเหล่านี้จะประกอบไปด้วยสมาชิกภายในฝูงที่ร่วมมือกันทำงานและมีวิธีการสื่อสารกันภายในกลุ่มเพื่อที่จะทำให้สมาชิกภายในฝูงทราบถึงเส้นทางของแหล่งอาหารได้

สำหรับวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) นั้นได้แนวคิดมาจากพื้นฐานของการค้นหาแหล่งอาหารของฝูงมดในธรรมชาติ โดยมดทุกตัวในฝูงจะร่วมมือกันค้นหาแหล่งอาหารและพยายามค้นหาเส้นทางจากรังไปยังแหล่งอาหารให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุดตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2-15

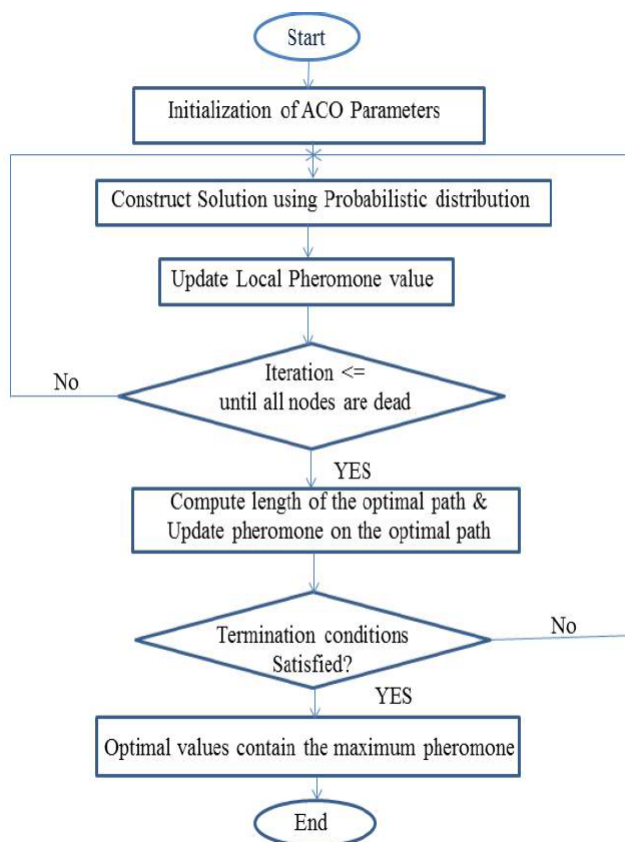


ภาพที่ 2-15 ธรรมชาติการเดินของมดโดยใช้เส้นทางที่สั้น (Deepa & Senthilkuman, 2016, p. 12)

จากภาพที่ 2-15 การค้นหาเส้นทางนั้นมดใช้สารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เป็นข้อมูลในการหาเส้นทางทั้งขาไปและขากลับรัง โดยมดจะพ่นฟีโรโมนลงบนเส้นทางที่ผ่านเพื่อเป็นข้อมูลให้มดตัวอื่น ๆ เดินตามและมดที่เดินตามก็จะวางฟีโรโมนทับลงไปอีก ฟีโรโมนในเส้นทางใดมีค่ามากก็จะมีจำนวนมดผ่านมากและเส้นทางจะมีความสั้นกว่าเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนน้อย จนกระทั่งสุดท้ายเส้นทางที่มีมดเลือกเดินมากที่สุดคือเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดทำให้ฟีโรโมนเป็นข้อมูลสำคัญต่อการใช้ค้นหาแหล่งอาหารของมดและการเดินทางกลับรัง เรียกว่า เป็นกลไกที่เกี่ยวกับผลสะท้อนกลับในทางบวก (Positive Feedback) โดยสนับสนุนวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นซึ่งเก็บอยู่ในความทรงจำของมด โดยที่มดจะสามารถนำออกมาใช้เพื่อสร้างคำตอบที่ดีขึ้นได้ แต่จะต้องมีวิธีที่จะต้องป้องกันการลู่เข้าสู่คำตอบเร็วกว่าที่ควรจะเป็น โดยการละทิ้งคำตอบที่ดี บางคำตอบเนื่องจากการสนับสนุนมากเกินไป จึงอาศัยการนำผลสะท้อนกลับในทางลบ (Negative Feedback) มาใช้ โดยจำลองให้ฟีโรโมนนั้นมีกลไกการระเหย (Evaporation) หรือลดลงไปตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ขั้นตอนวิธีระบบอานานิคมมดจึงถูกใช้แก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial optimization)

### 1. องค์ประกอบของวิธีระบบอานานิคมมด

องค์ประกอบพื้นฐานของวิธีระบบอานานิคมมดประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังภาพที่



ภาพที่ 2-16 ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมมด (Deepa & Senthilkuman, 2016, p. 13)

จากภาพที่ 2-16 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมมดได้ดังนี้  
 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตัวแปร (Parameter) กำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และกำหนดฟีโรโมนเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้นโดยการค้นหาคำตอบโดยการสุ่มเพื่อเลือกใช้สูตรที่ใช้ในการเลือกเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมนแบบแคบ

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบการค้นหาคำตอบครบตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้ายังไม่ครบให้วนกลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ถ้าค้นหาคำตอบครบแล้วให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำคำตอบนั้นทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมนแบบกว้าง

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขของการหยุดดำเนินการ ถ้ายังไม่พบเงื่อนไขของการหยุดดำเนินการให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ แต่ถ้าพบเงื่อนไขของการหยุดดำเนินการแล้วให้ดำเนินการขั้นตอนที่ 7 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดไปใช้งานซึ่งคือคำตอบที่ให้ค่าฟีโรโมนสูงสุด





$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (35)$$

เมื่อ

$\rho$  หมายถึง สัมประสิทธิ์ของอัตราการระเหยของฟีโรโมน

$m$  หมายถึง จำนวนของมดทั้งหมด

หลังจากที่มดตัวที่  $k$  เดินทางครบทุกตำแหน่งแล้ว ก็จะวางฟีโรโมนเป็น  $\Delta \tau_{ij}^k(t)$  บนด้าน  $(i, j)$  ซึ่งมดตัวที่  $k$  ได้เดินผ่าน โดย  $\Delta \tau_{ij}^k$  เป็นปริมาณของฟีโรโมนของมดตัวที่  $k$  ที่วางไว้บนด้าน  $(i, j)$  ซึ่งได้เดินผ่านคำนวณได้จากสมการที่ 36

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L^k & \text{if ant } k \text{ used edge}(i, j) \text{ in its tour,} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (36)$$

เมื่อ

$Q$  คือ ค่าคงที่

$L^k$  คือ ระยะทางของการเดินทางครบรอบของมดตัวที่  $k$

จากสมการที่ 35 ในเทอมแรกคือ  $(1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$  เป็นกระบวนการของการปรับลดฟีโรโมนเดิมบนเส้นทาง  $(i, j)$  ลงเนื่องจากการระเหยของฟีโรโมน ส่วนในเทอมที่สองคือ  $\sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$  จะเป็นการเพิ่มฟีโรโมนทับลงไปบนเส้นทางจากมดทุกตัวที่ได้เดินผ่าน ฉะนั้นการกำหนดจำนวนมดทั้งหมด  $m$  ตัวสำหรับการทำงานในระบบจึงมีความสำคัญมากเนื่องจากหากมีจำนวนมดมากเกินไปจะทำให้ค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีการลู่เข้าหาค่าตอบที่เร็วและอาจจะได้คำตอบที่ไม่ดี แต่หากมีจำนวนของมดน้อยเกินไปผลการทำงานนั้นจะไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีเนื่องจากการระเหยของฟีโรโมนจะมีมากกว่าการเพิ่มฟีโรโมนลงไป จะสังเกตเห็นว่าเส้นทาง  $(i, j)$  ใดมีจำนวนมดผ่านมากจะมีค่าของฟีโรโมนเพิ่มขึ้นมาก แต่ถ้าเส้นทาง  $(i, j)$  ใดมีจำนวนมดผ่านน้อยก็จะมีค่าของฟีโรโมนเพิ่มขึ้นน้อยกว่า

การสร้างคำตอบหรือการจัดลำดับของเส้นทางการเดินทางนั้น ในขณะที่มดตัวที่  $k$  อยู่ในตำแหน่งเมืองปัจจุบันที่  $i$  ในการเลือกไปยังตำแหน่งเมือง  $j$  ถัดไปนั้น จะพิจารณาจากเซต  $s^p$  ซึ่งเป็นกลุ่มของเมืองที่มดตัวที่  $k$  ยังไม่ได้เลือกเดินไป โดยการเลือกเดินนั้นจะอาศัยค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองมาเป็นข้อมูลในการเลือกและค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละเมืองจะถูกเลือกนั้นจะคำนวณจากสมการการส่งผ่านหรือค่าความน่าจะเป็น  $(p_{ij}^k)$  ดังสมการที่ 37

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{c_{il} \in N(s^p)} \tau_{il}^\alpha \cdot \eta_{il}^\beta} & \text{if } c_{ij} \in N(s^p), \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (37)$$

เมื่อ

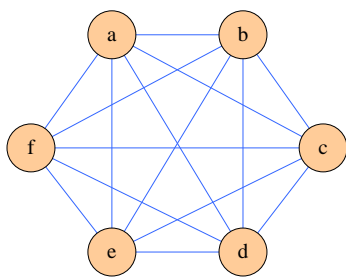
$N(s^p)$  คือ เซตของเส้นทางจากเมือง  $i$  ไปยังเมืองอื่นซึ่งมดตัวที่  $k$  ยังไม่ได้เลือกเดิน

$c_{il}$  คือ เส้นทางใด ๆ ที่มดตัวที่  $k$  สามารถเลือกเดินได้

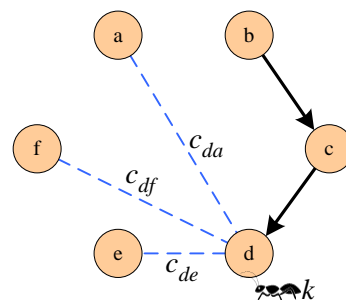
$l$  คือ เมืองใด ๆ ที่มดตัวที่  $k$  ยังไม่ได้เลือกเดินไป

โดยที่  $\alpha$  และ  $\beta$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งใช้สำหรับควบคุมความสำคัญของความสัมพันธ์กันระหว่างค่าฟีโรโมน  $\tau_{ij}$  กับข้อมูลของปัญหาที่สนใจ  $\eta_{ij}$  (Heuristic information) ว่าในการทำงานนั้นจะให้ความสำคัญกับสิ่งใดมากกว่ากัน เช่นถ้าให้  $\alpha = 0$  แสดงว่าตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดก็จะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกมากกว่า ในทางตรงข้ามถ้า  $\beta = 0$  แสดงว่าจะมีเพียงค่าของฟีโรโมนเท่านั้นที่มีผลต่อการเลือก โดยปัญหา TSP นั้นค่า  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$  ซึ่ง  $d_{ij}$  คือระยะทางระหว่างเมือง  $i$  และ  $j$

ตัวอย่างการใช้สมการในหัวข้อนี้ยกตัวอย่างปัญหา TSP ดังภาพที่ 2-18



(ก) เส้นทางระหว่างเมืองทั้งหมด



(ข) เส้นทางที่มดสามารถเลือกเดินได้ขณะอยู่ที่เมือง  $d$

ภาพที่ 2-18 กราฟของปัญหา TSP จำนวน 6 เมือง (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 67)

สำหรับปัญหา TSP ภาพที่ 2-18 แสดงว่ามีจำนวนเมืองทั้งหมด 6 เมืองคือ  $\{a, b, c, d, e, f\}$  ภาพที่ 4 (ก) แสดงถึงเส้นทางระหว่างเมืองทั้งหมดในระบบและภาพที่ 4 (ข) แสดงว่ามดตัวที่  $k$  ได้เลือกเดินไปยังเมือง  $b, c$  และ  $d$  แล้วตามลำดับ และเมืองปัจจุบัน ( $i$ ) คือเมือง  $d$  ดังนั้นในการพิจารณาว่ามดตัวที่  $k$  จะเลือกเดินไปยังเมืองถัดไป ( $j$ ) จะได้ว่าเซตของเมืองที่ยังไม่ได้เดินผ่านคือ  $s^p = \{a, e, f\}$  และเซตเส้นทางจากเมือง  $d$  ไปเมืองที่ยังไม่ได้เดินผ่านคือ  $N(s^p) = \{c_{da}, c_{df}, c_{de}\}$

## 2.2 วิธี Elitist Ant System: EAS

วิธี EAS เสนอโดย (Dorigo et al., 1997) พัฒนาต่อจากวิธี AS โดยเพิ่มส่วนของการเก็บค่าที่ดีที่สุดของแต่ละรอบการคำนวณ โดยที่การเพิ่มปริมาณของฟีโรโมนจะเพิ่มลงบนลิงค์ที่เป็นส่วนประกอบของเส้นทางของมดตัวที่ดีที่สุด ในแต่ละรอบการคำนวณเท่านั้น เพื่อให้ลิงค์นั้นมีโอกาสถูกเลือกใช้เป็นเส้นทางเดินมากขึ้น โครงสร้างของวิธี Elitist Ant System แยกได้เป็น 2 หลักด้วยกันคือ

1) การสร้างเส้นทางเดินของมด (Solution Construction) จะเหมือนกับวิธี AS ที่เลือกเมืองถัดไปโดยใช้ Random Proportional Rule

2) การอัปเดตปริมาณฟีโรโมน (Update of Pheromone Trails) ยังคงขั้นตอนการระเหยของสารฟีโรโมนเหมือนกับวิธี AS แต่ในส่วนขั้นตอนการอัปเดตฟีโรโมนจะมีการเพิ่มพจน์  $\Delta\tau_{ij}^{bs}$  การเพิ่มฟีโรโมนบนเส้นทางที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดดังสมการที่ 38

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k + e\Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (38)$$

เมื่อ

$\Delta\tau_{ij}^k$  คือ ปริมาณฟีโรโมนที่มดตัวที่  $k$  จะเพิ่มให้กับเส้นทางที่ได้ผ่านมาแล้ว

$$\Delta\tau_{ij}^{bs} \text{ คำนวณได้จาก } \Delta\tau_{ij}^{bs} = \begin{cases} \frac{1}{c^{bs}} & \text{เมื่อลิงค์ } ij \text{ อยู่บนเส้นทาง } T^{bs} \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases}$$

$c^{bs}$  คือ ค่าของระยะทางในส่วนที่เป็น best-so-far-tour

$e$  คือ พารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญในการเก็บคำตอบที่ดี

### 2.3 วิธีระบบมดแบบเรียงลำดับ (Rank-base Ant System: AS-rank)

วิธี AS-rank นำเสนอโดย (Bullnheimer et al., 1999) โครงสร้างของ AS-rank ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักดังนี้

1) การสร้างเส้นทางเดินของมดและการระเหยของปริมาณฟีโรโมนจะเหมือนกับ AS

2) การอัปเดตปริมาณฟีโรโมน โดยพิจารณาเพิ่มเติมจากอันดับของเส้นทาง(เส้นทางดีที่สุดช่วงอันดับเท่ากับ 1) จากนั้นเลือกมดตามจำนวนของช่วงอันดับ (Rank) โดยที่จำนวนมดในช่วงอันดับคำนวณได้จาก  $r = (w-1)$  ซึ่งมดที่มีเส้นทางดีที่สุดในรอบนั้นกำหนดให้มีความสำคัญเป็นอันดับ 1 เสมอตามลำดับ เช่นถ้า  $r$  มีค่าของช่วงอันดับเท่ากับ 5 แล้วแสดงว่าในรอบนั้น มดที่มีผลเฉลยดีที่สุด อันดับ 1 ถึง 5 จะถูกเลือกให้มีการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนในสัดส่วนที่ลดลงตามลำดับของช่วงอันดับ นอกจากนี้เส้นทางของมดตัวที่ดีที่สุดจะมีการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนปริมาณ  $w\Delta\tau_{ij}^{bs}$  ลงบนลิงค์ของเส้นทางในแต่ละรอบ ดังสมการที่ 39

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{r=1}^m (w - r)\Delta\tau_{ij}^r + w\Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (39)$$

โดยที่ปริมาณของฟีโรโมน  $\Delta\tau_{ij}^r$  และปริมาณของฟีโรโมน  $\Delta\tau_{ij}^{bs}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 40

$$\Delta\tau_{ij}^r = \begin{cases} \frac{1}{c^{bs}} & \text{เมื่อลิงค์ } ij \text{ อยู่บนเส้นทาง } T^r \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases} \quad (40)$$

เมื่อ

w คือ ค่าที่จัดเก็บลำดับโดยส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 6

C คือ ระยะทางในส่วนของลำดับในเส้นทางที่มดแต่ละตัวเดินผ่าน

ปริมาณฟีโรโมนเริ่มต้น ( $\tau_0$ ) หาได้จากสมการที่ 41

$$\tau_0 = 0.5r(r - 1)/\rho C^{rn} \quad (41)$$

#### 2.4 วิธีระบบมดแบบกำหนดขอบเขตสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Ant System: MMAS)

วิธี Max-Min Ant System (MMAS) พัฒนาโดย Thomas Stutzle และ Holger Hoos ประมาณปี ค.ศ. 1997 (Dorigo and Stutzle, 2004, p. 74) วิธีการ MMAS ยังคงมีวิธีการกำหนดเส้นทางโดยใช้กฎความน่าจะเป็นเหมือนวิธี AS แต่จะมีความแตกต่างไปจากวิธี AS ที่ชัดเจนอยู่ 4 ประการดังนี้

1) ปริมาณฟีโรโมนของลิงค์  $ij$  เป็นไปตามกฎการระเหยและการเพิ่มปริมาณบนเส้นทางที่ดีที่สุด ดังสมการที่ 42 หรือเลือกการอัปเดตฟีโรโมนบนเส้นทางที่ดีที่สุดในรอบการคำนวณนั้น ดังแสดงในสมการที่ 43

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (42)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{ib} \quad (43)$$

เมื่อ  $\Delta\tau_{ij}$  คือค่าการอัปเดตฟีโรโมนและค่า  $\Delta\tau_{ij}^{ib}$  และ  $\Delta\tau_{ij}^{bs}$  หาจากสมการที่ 44 และสมการที่ 45

$$\Delta\tau_{ij}^{ib} = \begin{cases} \frac{1}{c^{ib}} & \text{เมื่อลิงค์ } ij \text{ อยู่บนเส้นทาง } T^{ib} \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases} \quad (44)$$

$$\Delta\tau_{ij}^{bs} = \begin{cases} \frac{1}{c^{bs}} & \text{เมื่อลิงค์ } ij \text{ อยู่บนเส้นทาง } T^{bs} \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases} \quad (45)$$

2) วิธี MMAS จะจำกัดช่วงของปริมาณฟีโรโมนของลิงค์อยู่ระหว่าง  $[\tau_{min}, \tau_{max}]$  บนทุก ๆ เส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงการยึดติดกับคำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด (Local Optimum)

โดยที่  $\tau_{max} = 1/C^{bs}$  เป็นขอบเขตบน (Upper Limit or Upper Bound)

$\tau_{min} = \tau_{max}/2n$  เป็นขอบเขตล่าง (Lower Limit or Lower Bound)

เมื่อ  $n$  คือจำนวนโหนดทั้งหมด

3) การกำหนดปริมาณฟีโรโมนเริ่มต้น ( $\tau_0$ ) จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $\tau_{max}$  พร้อมทั้งกำหนดให้อัตราการระเหยของฟีโรโมนนั้นมีค่าน้อย เพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ในการค้นหาเส้นทางหรือคำตอบอื่นเพิ่มขึ้นโดยที่ ( $\tau_0$ ) หาได้จากสมการที่ 46

$$\tau_0 = 1/\rho C^{nn} \quad (46)$$

เมื่อ  $C^{nn}$  เป็นระยะของเส้นทางที่ดีที่สุดเส้นหนึ่ง (Candidate Solution)

4) ปริมาณฟีโรโมนที่เหลืออยู่บนทุกลิงค์จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเริ่มต้นได้ เมื่อการค้นหาคำตอบของวิธี MMAS นั้นติดกับค่าคำตอบที่ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดหรือคำตอบในหลายรอบการประมวลผลนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงติดต่อกัน

#### 2.5 ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS)

ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) (Dorigo & Gambardella, 1997) ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากระบบมดเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยได้เพิ่มการทำงานดังนี้

##### 1) การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณจะกระทำโดยมดทุกตัวในระบบ โดยจะปรับปรุงในทุกเส้นทางที่มดแต่ละตัวได้เลือกตำแหน่งเมือง  $j$  ถัดไปในขณะที่ปัจจุบันมดอยู่ที่ตำแหน่ง  $i$  และปริมาณฟีโรโมนบนด้านที่เชื่อมต่อระหว่างเมือง  $(i, j)$  จะถูกปรับปรุงด้วยสมการที่ 47

$$\tau_{ij} = (1 - \varphi) \cdot \tau_{ij} + \varphi \cdot \tau_0 \quad (47)$$

เมื่อ

$\tau_0$  คือ ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน

$\varphi$  คือ สัมประสิทธิ์ของการเสื่อมสลายของฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณ

ซึ่ง  $\varphi \in (0,1]$

หลักสำคัญของการปรับปรุงฟีโรโมนในระดับเฉพาะที่ คือเป็นการป้องกันไม่ให้เส้นทางที่มีจำนวนมดผ่านมากมีค่าของฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมากเกินไป (ค่าความน่าจะเป็นของเส้นทางนั้นมีค่ามาก) จนทำให้เส้นทางอื่นมีโอกาสถูกเลือกน้อย ดังนั้นเมื่อมดผ่านมายังด้านระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ การปรับปรุงในระดับพื้นที่นี้จะทำให้ระดับของฟีโรโมนบนด้านนั้นมีค่าความน่าสนใจลดน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้มดตัวอื่นในฝูงมีโอกาสที่จะสำรวจเส้นทางใหม่ ๆ หรือค้นพบเส้นทางที่แตกต่างออกไปได้ และก็มีค่าความน่าจะเป็นที่มดตัวใดตัวหนึ่งจะพบคำตอบซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นมากกว่าที่มีอยู่ก็เป็นได้

##### 2) การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบ เมื่อครบรอบของการทำงานในแต่ละรอบแล้ว จะพิจารณาปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะเส้นทางของมดตัวที่มีคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้นมาเป็นค่าในการปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบดังสมการที่ 48

$$\tau_{ij} \leftarrow \begin{cases} (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta \tau_{ij} & \text{if } (i, j) \text{ belongs to best tour,} \\ \tau_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (48)$$

$\Delta\tau_{ij}(t) = 1/L_{best}$  และ  $L_{best}$  คือ รอบการเดินทางที่สั้นที่สุดจากการเดินทางของมดทั้งหมดทุกตัว ดังนั้นสำหรับปัญหา TSP กระบวนการนี้จะปรับปรุงค่าฟีโรโมนบนเส้นทาง  $(i, j)$  ซึ่งเป็นเส้นทางที่มีระยะทางของรอบการเดินทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น

3) กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป

ข้อแตกต่างที่สำคัญของ ACS และ AS อีกอันหนึ่งก็คือกระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเมือง  $j$  ถัดไปขณะที่ปัจจุบันอยู่ตำแหน่งเมือง  $i$  ในการเลือกตำแหน่งเมืองถัดไปนั้นวิธี ACS จะพิจารณาจากสมการที่ 49

$$j = \begin{cases} \underset{J}{\operatorname{argmax}}_{c_{ij} \in N(s^p)} \{ \tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta \} & \text{if } q \leq q_0, \\ \text{otherwise} & \end{cases} \quad (49)$$

ค่า  $q_0$  เป็นค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $0 \leq q_0 \leq 1$  ส่วนตัวแปร  $q$  คือค่าจากการสุ่มมีค่าอยู่ระหว่าง  $[0, 1]$  มดแต่ละตัวจะต้องสุ่มกำหนดค่า  $q$  ใหม่ทุกครั้งเพื่อใช้สำหรับการเลือกเดินไปยังตำแหน่งเมืองถัดไป

หาก  $q \leq q_0$  จะเลือกเส้นทางที่มีค่าฟีโรโมนที่มากหรือดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธี ACS นั้นจะพยายามรักษาเส้นทางเดิมที่ดีที่สุดซึ่งระบบการทำงานในขณะนั้นสามารถหาได้ จึงแสดงว่าเส้นทางนั้นมีแนวโน้มว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้าหาก  $q > q_0$  มดก็จะเลือกตำแหน่งเมืองถัดไปคือเมือง  $J$  โดยการใช้การเลือกมาจากค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทางที่เป็นไปได้ด้วยสมการที่ 15 ในกรณีนี้แสดงว่ามดจะได้สำรวจเส้นทางใหม่ๆ ซึ่งอาจได้คำตอบที่ดีกว่าเดิมก็เป็นไปได้

ฉะนั้นการกำหนดค่าของ  $q_0$  จึงต้องกำหนดให้มีค่าเข้าใกล้ 1 นิยมกำหนดให้เท่า 0.9 เพื่อทำให้วิธี ACS ได้พยายามรักษาคำตอบที่ดีในขณะนั้นไว้และก็มีโอกาสที่จะค้นหาคำตอบใหม่ ๆ ได้ แต่ถ้ากำหนดให้ค่าของ  $q_0$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แล้ว วิธี ACS จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะรักษาคำตอบที่ดีไว้ได้แต่จะไปอาศัยความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองแทนทำให้คำตอบที่ได้มานั้นมีทิศทางที่จะไม่ลู่อไปในทิศทางเดียวกัน

### 3. พฤติกรรมของวิธี ACO แต่ละรูปแบบ

ความแตกต่างของวิธี ACO แต่ละรูปแบบมีดังนี้

#### 3.1 พฤติกรรมของวิธี AS (Behavior of AS)

วิธี AS จะอัปเดตฟีโรโมนทุกลิงค์ที่มดได้เดินผ่านประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของวิธี AS จะขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ให้มีความสมดุลกับขนาดของปัญหาในระหว่างกระบวนการค้นหาเส้นทางเพื่อป้องกันการพบคำตอบที่ติดอยู่ในพื้นที่วังแคบ หรือในกรณีที่ย่ำที่สุดอาจนำไปสู่พฤติกรรมการล่าในการหาคำตอบ (Stagstation Behavior) ประสิทธิภาพในการค้นหาที่ไม่ดีนัก ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการสำรวจเส้นทางมากเกินไป (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 88)

### 3.2 พฤติกรรมของวิธี AS Extensions (Behavior of Extensions of AS)

วิธี EAS จะอัปเดตฟีโรโมนลิงค์ที่หมดได้เดินผ่านเช่นเดียวกับวิธี AS แต่มีการอัปเดตฟีโรโมนบนเส้นทางที่สั้นที่สุดที่หมดหาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ ( $T^{bs}$ ) ในขณะที่วิธี AS-Rank จะอัปเดตฟีโรโมนในทุกลิงค์ที่หมดได้เดินผ่านเช่นเดียวกับวิธี AS แต่จะกำหนดจำนวนครั้งที่สามารถทำการอัปเดตฟีโรโมนได้เฉพาะมดตัวที่ค้นพบเส้นทางที่ดีในลำดับต้น ๆ ตาม Rank ที่กำหนดและจะอัปเดตฟีโรโมนเพิ่มบนเส้นทางที่สั้นที่สุดที่หมดหาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ ( $T^{bs}$ ) (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 89)

### 3.3 พฤติกรรมของวิธี MMAS (Behavior of Extensions of MMAS)

วิธี MMAS จะมีกระบวนการค้นหาเริ่มต้นที่ยาวที่สุดในวิธี ACO ทุกรูปแบบ (Dorigo, 2004) อันเนื่องมาจากการกำหนดปริมาณฟีโรโมนเริ่มให้มีค่าเป็น  $\tau_{max}$  และกำหนดค่าอัตราการระเหยให้มีค่าน้อย (การกำหนดค่า  $\rho = 0.02$  พบว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีเหมาะสำหรับการหาคำตอบที่ใช้เวลานาน) เมื่อปริมาณฟีโรโมนบนลิงค์เริ่มมีความแตกต่าง วิธี MMAS จะเปลี่ยนจากขั้นตอนการค้นหาคำตอบเริ่มต้นเข้าสู่ขั้นตอนการสะสมปริมาณฟีโรโมน การอัปเดตฟีโรโมนจะอัปเดตเฉพาะเส้นทางที่สั้นที่สุด (The Best-Found Tour) ซึ่งอาจหมายถึงเส้นทางที่ดีที่สุดในรอบการคำนวณ (The Iteration-Best Tour) หรือเส้นทางที่สั้นที่สุดที่หมดหา (The Best-So-Far Tour) ซึ่งจะมีการกำหนดปริมาณสารฟีโรโมนรวมในแต่ละลิงค์ไม่ให้เกินค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ( $\tau_{min} \leq \tau_{ij} \leq \tau_{max}$ ) (Dorigo & Stutzle, 2004, pp. 90-91)

### 3.4 พฤติกรรมของวิธี ACS (Behavior of Extensions of ACS)

วิธี ACS จะสร้างเส้นทางโดยการให้ความสำคัญกับเส้นทางที่ดีที่สุด ตั้งแต่เริ่มการคำนวณแต่จะมีความแตกต่างจากวิธี ACO รูปแบบอื่น ๆ โดยการสุ่มค่า  $q_0$  เพื่อใช้ในสมการ The Pseudorandom Proportional Action Choice Rule และทำการอัปเดตฟีโรโมนเฉพาะเส้นทางที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณด้วย Global Pheromone Trail Update และมีการอัปเดตในส่วนของการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นด้วย Local Pheromone Trail Update

จากการศึกษาของ (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 91) พบว่า วิธี ACS เมื่อประยุกต์กับปัญหา TPS จะสามารถหาคำตอบที่ดีโดยใช้เวลาการคำนวณต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

## 4. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีอาณานิคมมด

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในวิธี ACO แต่ละรูปแบบสำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TPS) นั้น Dorigo และคณะ ได้ศึกษาทดลองพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

4.1 Factor for All ACO Method คือพารามิเตอร์ที่ใช้ได้กับวิธี ACO ทุกรูปแบบซึ่งได้แก่

1) พารามิเตอร์  $\alpha$  Pheromone Trail Weight เป็นพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญของค่าฟีโรโมน

2) พารามิเตอร์  $\beta$  Heuristic Information Weight เป็นพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญของค่าระยะทาง

3) พารามิเตอร์  $\rho$  เป็นพารามิเตอร์ Pheromone Evaporation Weight

4.2 Factor for Specific ACO Method พารามิเตอร์เฉพาะ คือพารามิเตอร์ที่ใช้ได้เฉพาะกับวิธีการ ACO ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธี ACO อื่น ๆ ได้ ประกอบด้วย

1) พารามิเตอร์  $e$  Elitist Strategy Weight เป็นพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญในการเก็บคำตอบที่ดีที่สุด ใช้เฉพาะกับวิธี EAS เท่านั้น

2) พารามิเตอร์  $w$  Rank – base Weight เป็นพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญในการเก็บคำตอบโดยพิจารณาตามลำดับที่ดีที่สุด ใช้เฉพาะกับวิธี AS-rank เท่านั้น

3) พารามิเตอร์  $\gamma$  เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณในสมการ Local Pheromone Update เฉพาะกับวิธี ACS เท่านั้น

4) พารามิเตอร์  $q_0$  Random Exploration เป็นพารามิเตอร์ใช้ในการสุ่มเลือกกระหว่าง Random Proportional Rule และ Pseudorandom Proportional Rule เฉพาะกับวิธี ACS เท่านั้น

โดยมีค่าแนะนำสำหรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอาณานิคมมด (Dorigo & Stutzle, 2004, p. 71)

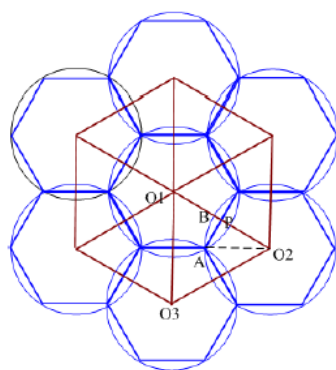
Parameter Setting for ACO	รูปแบบ ACO				
	AS	EAS	AS-Rank	MMAS	ACS
$\alpha$ Pheromone Trail Weight	1	1	1	1	1
$\beta$ Heuristic Information Weight	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
$\rho$ เป็นพารามิเตอร์ Pheromone Evaporation Weight	0.5	0.5	0.1	0.02	0.1
$e$ Elitist Strategy Weight	-	$n$	-	-	-
$w$ Rank – base Weight	-	-	6	-	-
$\gamma$ Local Pheromone Update	-	-	-	-	0.1
$q_0$ Random Exploration	-	-	-	-	0.9

หมายเหตุ  $n$  คือจำนวนโหนดหรือจำนวนเมือง

## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์วิธีระบบอาณานิคมมด

Sun (2014) ได้นำเสนอการออกแบบวิธีอาณานิคมมดประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยจะทำการหาความเหมาะสม 2 ค่า ได้แก่ ขอบเขตพื้นที่ (Area Coverage) และขอบเขตของสิ่งกีดขวาง (Barrier Coverage) ซึ่งแบบจำลองเครือข่ายที่เหมาะสมแสดงดังภาพที่ 2-19

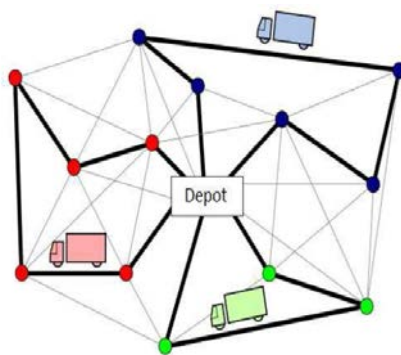




ภาพที่ 2-19 แบบจำลองเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุด (Sun, 2014, p. 2088)

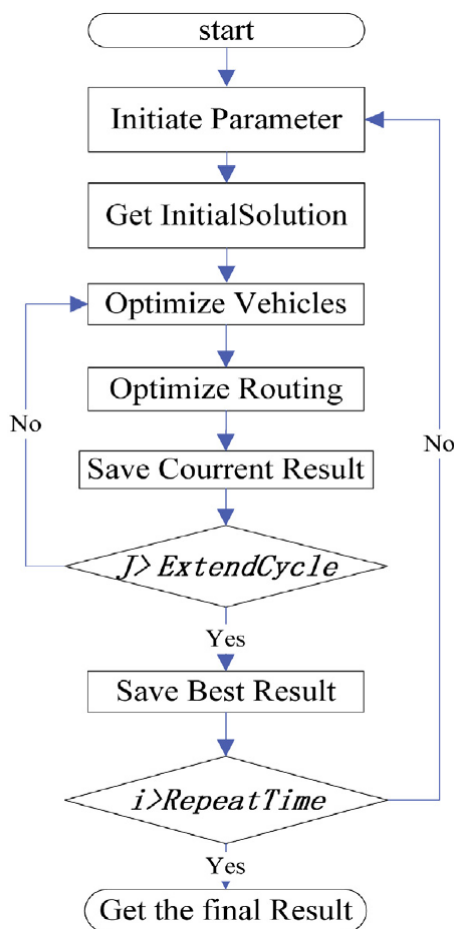
จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีประสิทธิภาพ (Effectiveness) ในการหาค่าความเหมาะสมดังกล่าว

Kalacy and Kaya (2016) ได้นำเสนอการออกแบบวิธีอาณานิคมมดประเภท Ant Colony System (ACS) ประยุกต์ในการแก้ปัญหาทางโลจิสติกส์ (Logistics) คือปัญหาการระบุเส้นทางรถยนต์ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยจัดทำระบบการหาเส้นทางของการขนส่งของรถกระบะ (Pickup) ที่สามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทางด้านวางแผนและการตัดสินใจในการขนส่งต่อไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 2-20



ภาพที่ 2-20 การหาเส้นทางของการขนส่งของรถกระบะ (Kalacy & Kaya, 2016, p. 165)

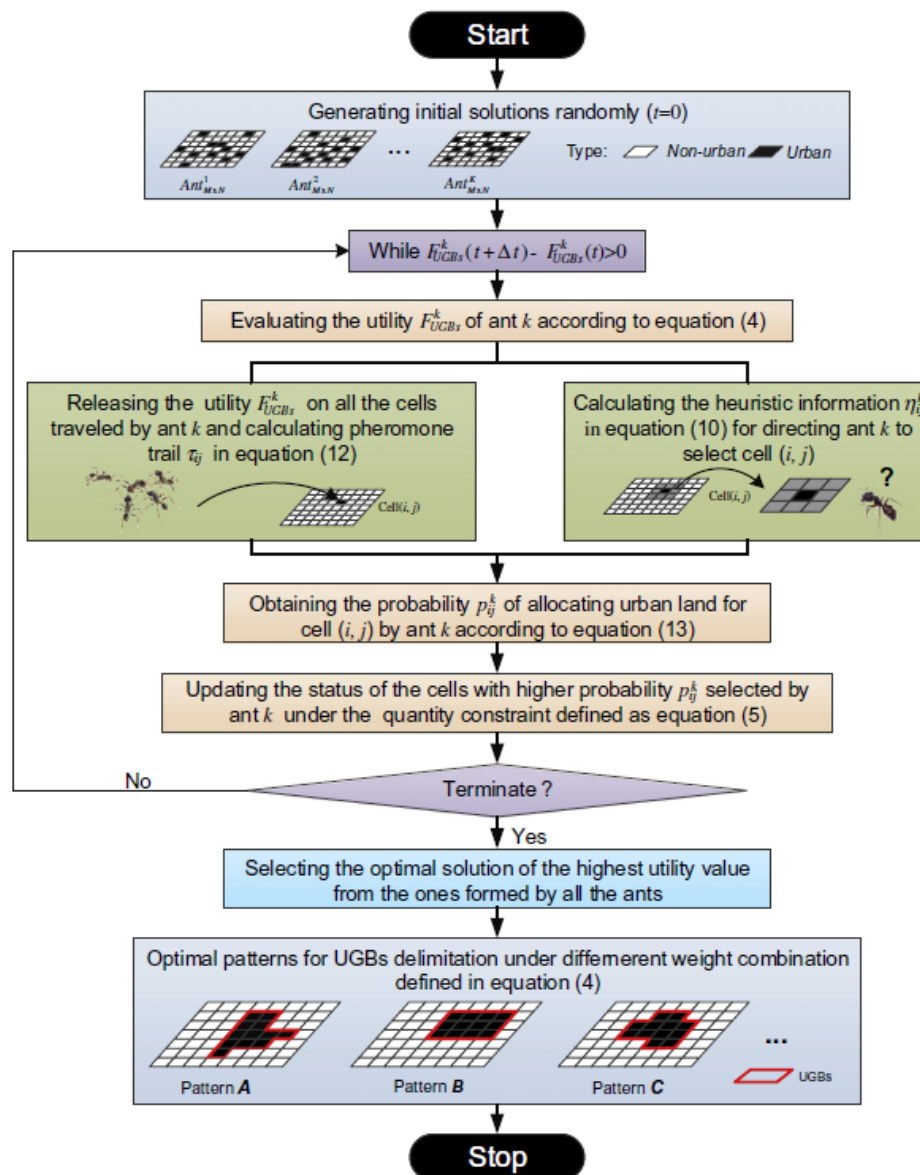
Wu, Tian, and Jin (2016) ได้นำเสนอการออกแบบวิธีอาณานิคมมดประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาการระบุเส้นทางรถยนต์ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยปัญหาที่นำมาใช้กับระบบอาณานิคมมดได้แก่ การหาประเภทรถยนต์ที่เหมาะสมกับงาน (Optimize Vehicles) และการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม (Optimize Routing) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานตามภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอาณานิคมในการแก้ปัญหาการระบุเส้นทางรถยนต์ (Wu et al., 2016, p. 225)

จากภาพที่ 2-21 เป็นการดำเนินการตามขั้นตอนของวิธีอาณานิคมมดประเภท Ant Colony System (ACS) ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการดังกล่าวสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของการดำเนินการขนส่งลงได้สูงสุด 9.2%

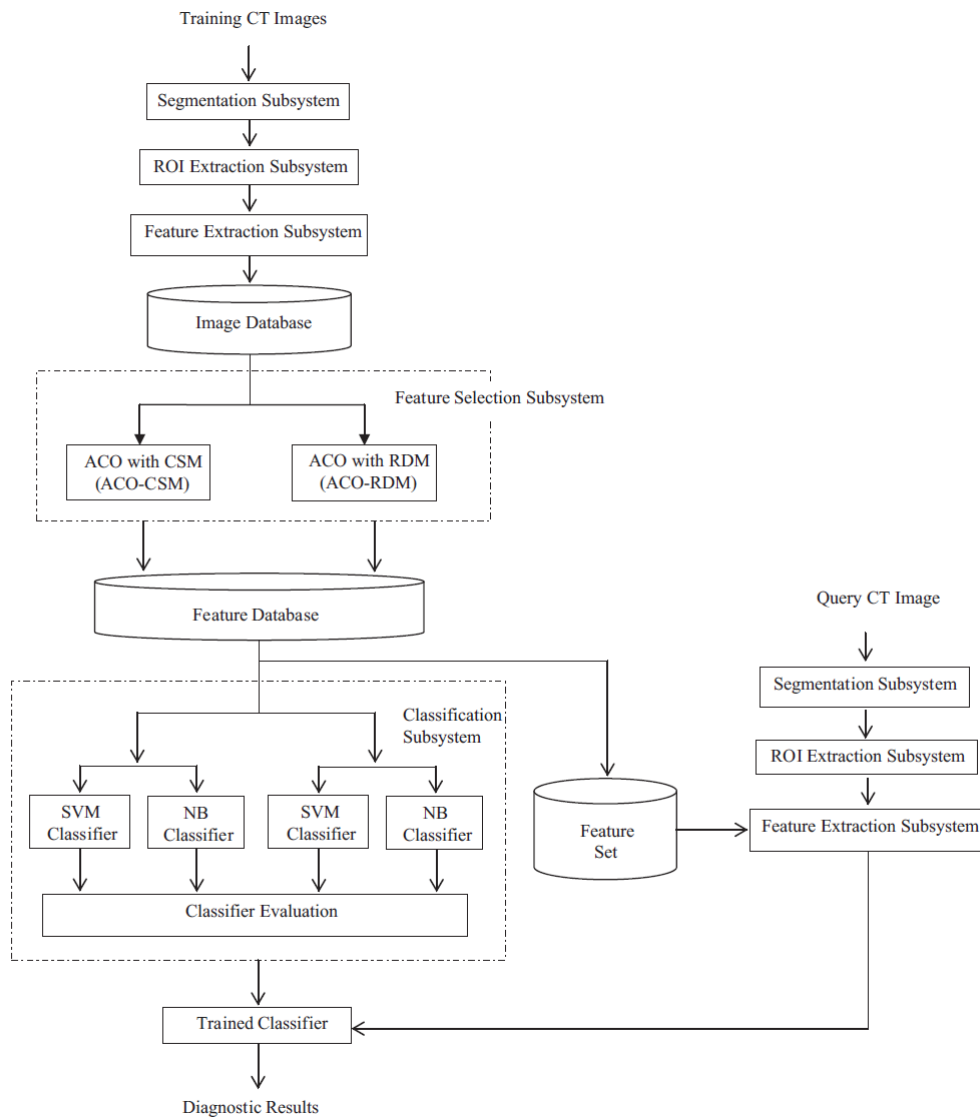
Ma, Li, and Cai (2017) ได้นำเสนอการออกแบบวิธีอาณานิคมมดประยุกต์กับปัญหาการจำกัดขอบเขตการเติบโตของเมืองในประเทศจีนว่าควรจะมีการวางแผนการเติบโตของเมืองอย่างไรจึงจะเหมาะสมที่สุด กรณีศึกษาที่ผู้วิจัยนำมาทดลองได้แก่เมือง Changsha, Zhuzhou และ Xiangtan เนื่องจากเมืองทั้ง 3 มีอัตราการเติบโตของเมืองที่สูงมาก ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีอาณานิคมมดที่นำเสนอแสดงได้ดังภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-22 ขั้นตอนการทำงานของวิธีระบบอณานิคมมดสำหรับการจำกัดขอบเขตการเติบโตของเมือง (Ma et al., 2017, p. 150)

เมื่อดำเนินการตามกระบวนการดังภาพที่ 2-22 แล้วเสร็จสรุปเป็นภาพรวมได้ว่าทิศทางการเติบโตของเมือง Changsha, Zhuzhou และ Xiangtan ในอนาคตต้องมีการเติบโตรวมกันแบบเป็นกลุ่มก้อนไปพร้อม ๆ กัน จึงจะเหมาะสมที่สุด

Sweetlin, Nehemiah, and Kannan (2017) ได้นำเสนอการออกแบบวิธีอณานิคมมดประยุกต์กับปัญหาการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวินิจฉัยโรคก้อนเนื้อ (Hamartoma) ในปอด จากภาพ CT Scan บนพื้นฐานของการเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) จากภาพซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานของระบบดังภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-23 กรอบการดำเนินงานของระบบการเลือกลักษณะจากภาพด้วยวิธี ACS (Sweetlin et al., 2017, p. 4)

จากกระบวนการดำเนินงานจากภาพที่ 2-23 พบว่า วิธีอาณานิคมมดจะนำไปใช้ในการบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) ก่อนเนื้อ (Hamartoma) จากภาพ CT Scan ในรูปแบบของการจัดหมวดหมู่ (Classifier) ของกลุ่มภาพที่เหมาะสม เพื่อเลือกกลุ่มภาพที่ดีที่สุดนำมาใช้ในการวินิจฉัยโรคต่อไป

จากตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีอาณานิคมมดดังกล่าวแล้วแต่เป็นงานวิจัยที่นำไปใช้แก้ปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ทั้งสิ้น เนื่องจากวิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ประเภทเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) ซึ่งมีระเบียบวิธีในการค้นหา

คำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น

จากความสำคัญของปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในแนวทางใหม่ โดยใช้วิธีที่ยังไม่เคยมีผู้พัฒนามาก่อน ประกอบกับวิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีที่มีคุณสมบัติในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังไม่พบว่ามีงานวิจัยใดได้นำวิธีดังกล่าวมาใช้กับการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ดียิ่งขึ้น

### ตอนที่ 3 การศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล

การศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Study) โดยทั่วไปจะเรียกว่าการศึกษาในสถานการณ์จำลอง (Simulation Study) เป็นการศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงและดำเนินการทดลองเป็นระบบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ผลการศึกษาสามารถนำไปอ้างอิงได้กับการทดลองเชิงประจักษ์ ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาค่าที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ในการทดลองเชิงประจักษ์

การศึกษาในสถานการณ์จำลองเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการหาคำตอบทางสถิติ โดยอาศัยการสุ่มจำนวนเพื่อนำมาสร้างค่าของตัวแปรให้เหมือนในสถานการณ์จริง และใช้การทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนที่จะเป็นข้อสรุป หรือใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในสถานการณ์จริง ซึ่งการศึกษาในสถานการณ์จำลองนี้เป็นที่นิยมมาก ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ หรือทางสถิติ (Frenkel, 2004; Raychaudhuri, 2008)

การศึกษาในสถานการณ์จำลองมีความจำเป็นต่อการพัฒนาการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก เพราะเป็นขั้นตอนแรกเพื่อตรวจสอบความคุ้มค่าก่อนการพัฒนาแบบทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้พัฒนาที่ยังมีประสบการณ์น้อย (Thompson & Weiss, 2011) นอกจากนี้ยังจำเป็นต่อการปรับปรุงวิธีการเดิมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น หรือพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ เพราะช่วยลดความซับซ้อน ลดเวลา และลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก เมื่อเทียบกับการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจริง เช่น งานของ van der Linden (2003) ได้ปรับปรุงวิธีการซิมสแนกเตอร์ เพื่อลดจำนวนรอบในการควบคุมการใช้ข้อสอบ หรืองานของ Gao and Chen (2005) ได้เปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบระหว่างวิธีมาร์จินัลไลค์ลิสูดสูงสุด (Marginal Maximum Likelihood Estimation) กับวิธีมาร์จินัลเบย์โมเดล (Marginal Bayes Model Estimation) ในโมเดลโลจิสติก 3 พารามิเตอร์

การศึกษาในสถานการณ์จำลองมีขั้นตอนในการดำเนินการคล้ายคลึงกับการศึกษาในสถานการณ์จริง โดย Harwell et al. (1996) ได้เสนอขั้นตอนของการศึกษาในสถานการณ์จำลองตามพื้นฐานทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (Formulating the Problem) โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้กำหนดปัญหาที่สนใจ การตั้งคำถามของการวิจัย สมมติฐานการวิจัย หรือสิ่งที่ต้องการวัด โดยอาศัยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็ นทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง หรือผลการวิจัยในอดีต

2. การออกแบบการศึกษาในสถานการณ์จำลอง (Designing a Monte Carlo Study) มีหลักการเช่นเดียวกันกับการออกแบบการศึกษาในสถานการณ์จริง ซึ่งมีขั้นตอนย่อยที่ต้องพิจารณา ดังนี้

2.1 การกำหนดและการตั้งค่าของตัวแปรต้น (Selecting the Independent Variables and Their Values) จะถูกกำหนดตามคำถามของการวิจัย หรือสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ ซึ่งผู้ศึกษาต้องกำหนดและตั้งค่าของตัวแปรต้นนั้น ๆ เพื่อใช้ในการจำลองข้อมูลในขั้นตอนถัดไป เช่น การศึกษาผลกระทบของจำนวนข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบ (Test Lengths) ที่มีผลต่อความแปรปรวนในการแจกแจงก่อนของค่าประมาณอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Prior Variances of the Distribution of Discrimination Parameter Estimation) ซึ่งตัวแปรต้นในการศึกษานี้ คือ จำนวนข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบ โดยกำหนดค่าเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งเป็นตัวเลขสุ่มที่จะจำลองขึ้นในขั้นตอนถัดไป

2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง (Selecting an Experimental Design) จะถูกกำหนดตามลักษณะของตัวแปรต้น และวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยทั่วไปจะใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย (ตัวแปรต้น) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปพร้อม ๆ กัน แบ่งแยกเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัว (Main Effect) และการศึกษาอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัย ซึ่งไม่ว่าผู้ศึกษาจะเลือกใช้การทดลองรูปแบบใด จะมีผลต่อโครงสร้างในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ เช่น ถ้าพิจารณาปัจจัย 2 ตัว แต่ละปัจจัยมีค่า 3 ระดับ ต้องใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล  $3^k$  (3 Factorial Design) แล้วในการวิเคราะห์ผลลัพธ์จะต้องวิเคราะห์ผลทั้งหมด  $3 \times 3 = 9$  รูปแบบ

2.3 การกำหนดตัวแปรตาม (Selecting Dependent Variables) จะกำหนดตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งตัวแปรตามเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น

2.4 การกำหนดจำนวนของการทดลองซ้ำ (Selecting the Number of Replications) จะเทียบได้กับการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของการทดลองในสถานการณ์จริงดังนั้นจึงสามารถนำเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดกลุ่มตัวอย่างในการดำเนินการวิจัยทั่วไปมาใช้กำหนดจำนวนของการทดลองซ้ำได้ทั้งนี้การกำหนดจำนวนในการทดลองซ้ำมาก ๆ (กลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่) จะทำให้ค่าความแปรปรวนของตัวอย่างในการประมาณค่าพารามิเตอร์มีค่าน้อยซึ่งเป็นสิ่งที่นักสถิติต้องการเพราะทำให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีความเชื่อมั่นสูง (Reliable Result) ดังนั้นโดยทั่วไปการทดลองซ้ำในสถานการณ์จำลองจะกำหนดในระดับพันรอบ

2.5 การกำหนดโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Formulating the Mathematical Model) จะมีผลโดยตรงต่อการจำลองข้อมูลของการศึกษาในสถานการณ์จำลองโดยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบมีโมเดลให้เลือกใช้หลายแบบ เช่น โมเดลปกติสะสม (Normal Ogive Model) หรือโมเดลโลจิสติก (Logistic Model) ซึ่งผู้ศึกษาควรเลือกให้สอดคล้องกับปัญหาหรือวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3. การเขียนหรือเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Writing or Selecting Computer Programs) โดยทั่วไปการศึกษาในสถานการณ์จำลองจะอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองข้อมูลประมาณค่าพารามิเตอร์ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งผู้ศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมใหม่ขึ้นมาใช้เองโดยใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วไปเช่นภาษาปาสคาล (Pascal) ภาษาฟอร์แทรน (Fortran) หรือภาษา MATLAB หรือในกรณีที่ผู้ศึกษาไม่มีความถนัดในการเขียนโปรแกรมอาจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเช่น โปรแกรม WinGen3 (Han, 2007) โปรแกรม PARDSIM (Yoes, 1997) นอกจากนี้มีโปรแกรมเฉพาะสำหรับจำลองสถานการณ์ของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เช่นโปรแกรม FireStar (Choi, 2009) โปรแกรม CATSim (Weiss&Guyer, 2012) เป็นต้นการจำลองข้อมูลตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบสามารถแบ่งได้ 2 ส่วนดังนี้

3.1 การจำลองผลการตอบข้อสอบ (Generating Item Responses) ของผู้สอบในแต่ละข้อ ซึ่งมี 2 ค่า คือ 0 (ตอบผิด) หรือ 1 (ตอบถูก) โดยผู้ศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองผลการตอบข้อสอบได้ด้วยแนวคิดดังนี้ (Thompson & Weiss, 2011)

สมมติว่า ผู้สอบที่มีความสามารถปานกลาง ( $\theta=0.0$ ) มีโอกาสที่จะตอบคำถามถูกเท่ากับ 0.75 (คำนวณจากฟังก์ชันการตอบสนองข้อสอบซึ่งแทนด้วยค่า  $\theta$  และค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบข้อนั้น) แล้วสุ่มเลขที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ในช่วง 0 ถึง 1 มา 1 ค่า ถ้าเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 ให้กำหนดผลการตอบข้อสอบเป็นตอบถูก แต่ถ้าเลขสุ่มมีค่ามากกว่า 0.75 ให้กำหนดผลการตอบข้อสอบเป็นตอบผิด

3.2 การประมาณพารามิเตอร์ของข้อสอบ (Estimating Model Parameters) ในสถานการณ์จริงจะนำผลการตอบของผู้สอบจำนวนมากไปประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น BILOG MULTILOG หรือ XCALIBRE ด้วยวิธีการเดียวกันนี้ สำหรับการศึกษาในสถานการณ์จำลองจะใช้ชุดผลการตอบข้อสอบที่จำลองขึ้น (จากข้อ 3.1) มาประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเช่นเดียวกับการประมาณค่าในสถานการณ์จริง แต่เพื่อความสะดวกสามารถใช้โปรแกรม WinGen3 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองค่าความสามารถของผู้สอบ ผลการตอบข้อสอบ และค่าประมาณพารามิเตอร์ของข้อสอบได้ในคราวเดียวกัน

4. การวิเคราะห์ผลการศึกษาในสถานการณ์จำลอง (Analyzing the Results of a Monte Carlo Study) ส่วนใหญ่ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) เช่น ค่าเฉลี่ย ตารางแจกแจงความถี่ หรือกราฟ ซึ่งเป็นการแสดงผลลัพธ์โดยรวม ดังนั้น ผู้ศึกษาสามารถใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ที่เหมาะสม เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอย มาวิเคราะห์ร่วมกับสถิติเชิงพรรณนา ซึ่งจะช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี คือ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และ 3) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ ในด้าน (1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (2) ความยาวของแบบทดสอบ และ (3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี รวมทั้งนำไปพัฒนาขึ้นดังกล่าว ไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

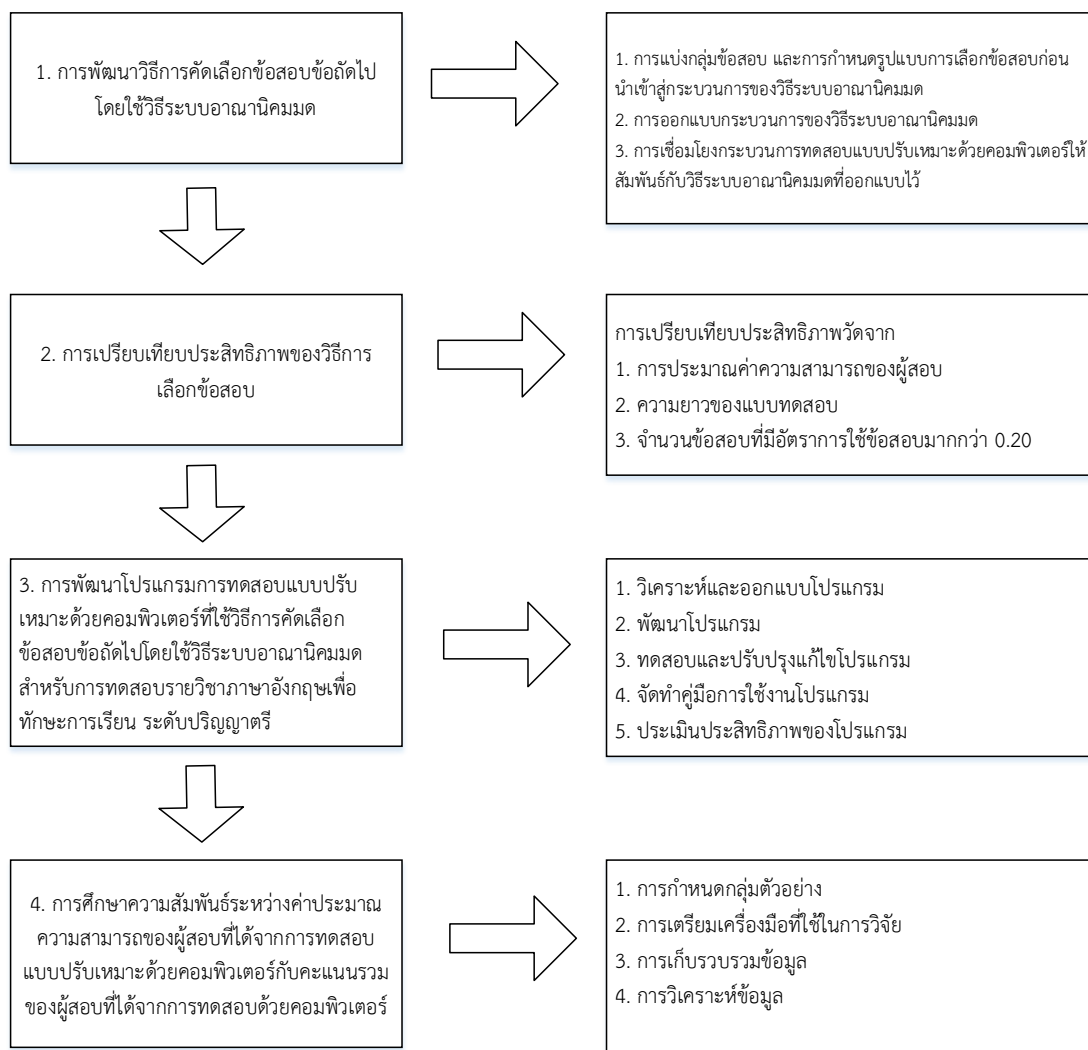
ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบ

ระยะที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี

ระยะที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

จากวิธีการดำเนินการวิจัยทั้ง 4 ระยะข้างต้น สามารถแสดงภาพรวมพร้อมทั้งรายละเอียดกิจกรรมของแต่ละขั้นตอนได้ดังภาพที่ 3-1





ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

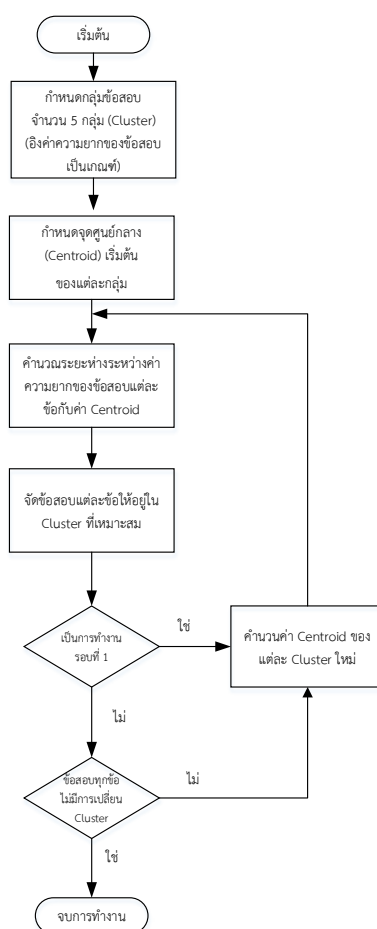
เนื่องจากวิธีอาณานิคมมดไม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะ จึงส่งผลให้ไม่สามารถนำหลักการของวิธีดังกล่าวมาใช้ในการเลือกข้อสอบได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องทำการคิดวิเคราะห์ และออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อให้วิธีระบบอาณานิคมมดสามารถเลือกข้อสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการพัฒนาเป็น 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## ขั้นตอนที่ 1 การจัดกลุ่มข้อสอบ และการกำหนดรูปแบบการเลือกข้อสอบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคม

ประกอบไปด้วยวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

### 1. การจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบ

การจัดกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบจัดตามค่าความยากของข้อสอบเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) (Karahora & Ince, 2009) ซึ่งในการจัดกลุ่มข้อสอบดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำเทคนิคทางด้านเหมืองข้อมูล (Data Mining Techniques) คือเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means Clustering เทคนิค K-Means จะมีการทำงานหลาย ๆ รอบ (Iteration) โดยในแต่ละรอบจะมีการรวมชุดข้อมูลที่เหมือนหรือคล้ายกัน ให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเดียวกัน การพิจารณาว่าข้อมูลใดที่คล้ายกัน ก็โดยการวัดระยะห่างจากค่าของข้อมูลกับค่ากลางของกลุ่ม เลือกนำข้อมูลนั้นจัดไว้ในกลุ่มใดที่ได้ค่าระยะห่างนี้น้อยที่สุด แล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ จะทำเช่นนั้นจนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ สามารถเขียนสรุปขั้นตอนการแบ่งกลุ่มข้อสอบด้วยวิธี K-Means Clustering ได้ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินการของการจัดกลุ่มข้อสอบด้วยวิธี K-Means Clustering

จากภาพที่ 3-2 สามารถอธิบายขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อสอบโดยใช้ค่าความยากของข้อสอบเป็นเกณฑ์ด้วยวิธี K-Means Clustering ดังนี้

1.1 กำหนดจำนวนกลุ่มข้อสอบที่ต้องการจัด นั่นคือ จำนวนข้อสอบทั้งหมดที่จะนำมาแบ่งสรรออกเป็นกลุ่ม ๆ ในกรณีนี้จะแบ่งข้อสอบโดยอิงค่าความยากของข้อสอบเป็นเกณฑ์ออกเป็น 5 กลุ่ม (Cluster)

1.2 กำหนดจุดศูนย์กลาง (Centroid) เริ่มต้น โดยการสุ่มตัวเลขเพื่อใช้เป็นค่า Centroid เริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะต้องสุ่มตัวเลขจำนวน 5 ค่า เท่ากับจำนวน Cluster ที่กำหนดไว้ในข้อ 1 โดยค่า Centroid ดังกล่าวจะสุ่มตัวเลขตามช่วงค่าความยากของข้อสอบ ซึ่งอยู่ในช่วง -2.50 ถึง 2.50

1.3 คำนวณระยะห่างระหว่างค่าความยากของข้อสอบแต่ละข้อกับค่า Centroid ของแต่ละ Cluster ที่ได้จากข้อ 2 ด้วยวิธี Euclidean ดังสมการที่ 50

$$D_{Euclidean} = \sqrt{(x_i - y)^2} \quad (50)$$

เมื่อ  $x_i$  = ค่าความยากของข้อสอบข้อที่  $i$   
 $y$  = ค่า Centroid

1.4 กำหนดให้ข้อสอบแต่ละข้ออยู่ใน Cluster ที่มีค่าความยากอยู่ใกล้กับ Centroid ของ Cluster นั้น

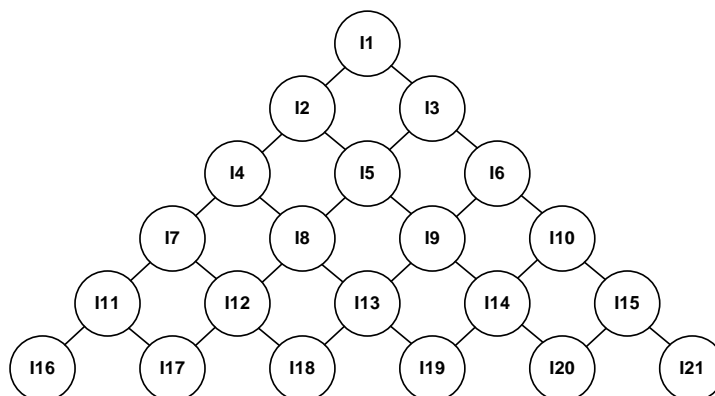
1.5 คำนวณค่า Centroid ของแต่ละ Cluster ใหม่อีกครั้ง

1.6 ตรวจสอบเงื่อนไข โดยทำซ้ำในหัวข้อที่ 3-5 ไปจนกระทั่งข้อสอบทุกข้อไม่มีการเปลี่ยน Cluster (กลุ่มคงที่)

## 2. การกำหนดรูปแบบการเลือกข้อสอบของกระบวนการ ACS

การเลือกข้อสอบข้อถัดไปจะถูกออกแบบให้อยู่ในรูปแบบของการจัดข้อสอบจากกลุ่มข้อสอบที่ได้จากกระบวนการ K-Means Clustering ให้อยู่ตามตำแหน่งที่เหมาะสมบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม (Triangle Decision Tree) ซึ่งจะแตกต่างกับผังต้นไม้ตัดสินใจแบบปกติ (Classical Decision Tree) ตรงที่ Branch จาก Root Node ฝั่งซ้ายและฝั่งขวาสามารถเชื่อมโยงถึงกันได้ ในขณะที่ผังต้นไม้ตัดสินใจแบบปกตินั้นจะแยกออกจากกันไม่สามารถเชื่อมโยงถึงกันได้

การจัดวางตำแหน่งข้อสอบแต่ละข้อที่เหมาะสมของแต่ละชุดข้อสอบจะใช้กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมดในการจัดวางแบบอัตโนมัติ โดยจะทำการจัดชุดข้อสอบบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมสูงสุดจำนวน 21 ข้อ เนื่องจากผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมในรูปแบบมาตรฐานจะประกอบไปด้วยจำนวนโหนดทั้งหมด 21 โหนด และมีระดับของผังต้นไม้เท่ากับ 6 ระดับ (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012) โดยการจัดชุดข้อสอบบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 การจัดชุดข้อสอบบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม

จากภาพที่ 3-3 จำนวนข้อสอบทั้งหมดที่จัดวางบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมใด ๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 51

$$N = 1 + 2 + 3 + \dots + n \quad (51)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนโหนดหรือข้อสอบทั้งหมดของแต่ละชุดข้อสอบที่จัดวางบน  
ผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม

$n$  คือ จำนวนระดับของผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม

จากสมการดังกล่าวเมื่อพิจารณาค่าตัวแปร  $n$  นอกจากจะหมายถึงจำนวนระดับของ  
ผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมแล้วยังหมายถึงจำนวนข้อสอบสูงสุดที่ผู้สอบสามารถทำได้ใน 1 กลุ่ม  
ของข้อสอบที่ถูกจัดวางในรูปแบบของผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง  
จำนวนข้อสอบสูงสุดที่ใช้ทดสอบและจำนวนข้อสอบทั้งหมดของแต่ละชุดข้อสอบที่ใช้ในการจัดวาง  
ข้อสอบในรูปแบบของผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมแต่ละต้นเป็นไปตามสมการที่ 52

$$N = \left(\frac{n}{2}\right)(n + 1) \quad (52)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนโหนดหรือข้อสอบทั้งหมดของแต่ละชุดข้อสอบที่จัดวางบน  
ผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม

$n$  คือ จำนวนข้อสอบสูงสุดที่ใช้ทดสอบในแต่ละชุดข้อสอบ

ลักษณะของการเลือกข้อสอบข้อถัดไปให้ผู้สอบจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของการ  
เชื่อมโยงถึงกันระหว่างข้อสอบแต่ละข้อบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมมีลักษณะดังนี้ เมื่อผู้สอบ  
กำลังทำข้อสอบ ณ ข้อหรือโหนดใด ๆ บนตำแหน่งของผังต้นไม้ตัดสินใจหากทำข้อสอบข้อดังกล่าวผิด

ข้อสอบข้อถัดไปที่ระบบจะเลือกให้ผู้สอบทำคือข้อสอบที่เชื่อมโยงกับโหนดนั้นทางฝั่งด้านซ้ายในระดับถัดลงมา 1 ระดับ (ข้อสอบที่ระดับความยากลดลง) ในทางตรงกันข้ามหากผู้สอบทำข้อสอบข้อดังกล่าวถูกระบบก็จะทำการเลือกข้อสอบที่เชื่อมโยงกับโหนดนั้นทางด้านขวาในระดับถัดลงมา 1 ระดับ (ข้อสอบที่ระดับความยากเพิ่มขึ้น) เป็นข้อสอบข้อถัดไป

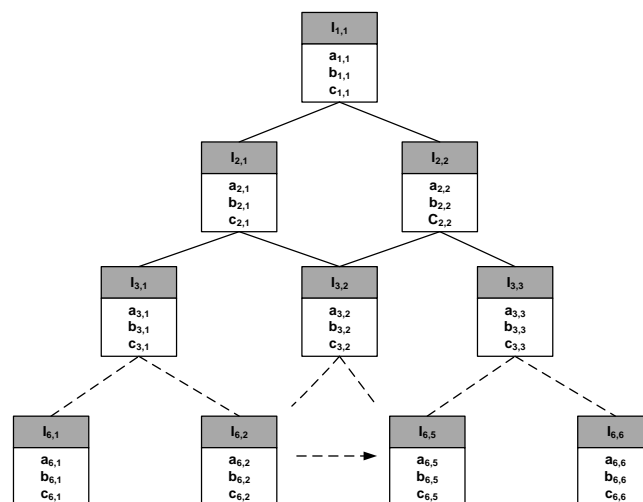
ดังนั้นนอกจากมตทุกตัวจะต้องเลือกข้อสอบเพื่อจัดวางในรูปแบบผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมแล้ว มตทุกตัวจากจำนวนประชากรมตทั้งหมดที่กำหนดยังจะต้องเลือกหรือค้นหาข้อสอบเพื่อจัดวางตามโหนดต่าง ๆ บนต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมเป็นไปตามกฎดังสมการที่ 53 – 54 (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012)

$$\{b_{x+1,y}\} < \{b_{x,y}\} < \{b_{x+1,y+1}\} \quad (53)$$

$$\{b_{x,1}\} < \{b_{x,2}\} < \dots < \{b_{x,y}\} \quad (54)$$

- เมื่อ  $b$  คือ ค่าความยากของข้อสอบ  
 $x$  คือ ระดับของต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม  
 $y$  คือ ลำดับของข้อสอบที่จัดวางในระดับต่าง ๆ บนต้นไม้ตัดสินใจจากซ้ายไปขวา

ตำแหน่งข้อสอบบนต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมที่จัดเรียงตามกฎดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมที่แทนด้วยค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ

จากภาพที่ 3-4 กรณีที่โหนดอยู่ต่างชั้นกันจะกำหนดให้โหนดที่อยู่ทางซ้ายในระดับที่ต่ำกว่าจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ ความยากของข้อสอบ ( $b$ ) ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ( $a$ ) และค่า

การเดาของข้อสอบ (c) น้อยกว่า ในทางตรงกันข้ามคูโหนดที่อยู่ทางขวาในระดับที่ต่ำกว่าจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ทั้งสามดังกล่าวสูงกว่า กรณีที่โหนดอยู่ในระดับชั้นเดียวกันโหนดที่อยู่ทางขวาจะมีค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ของข้อสอบมากกว่าโหนดที่อยู่ทางซ้าย

การจัดวางข้อสอบแต่ละข้อบนผังต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมที่มีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 53-54 ดังกล่าวจะไม่ดำเนินการจัดวางข้อสอบทั้งหมดภายในผังต้นไม้ต้นเดียวเนื่องจากจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณของวิธีระบบอาณานิคมมากเกินไป โดยเฉพาะถ้าจำนวนข้อสอบที่ต้องการใช้ทดสอบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ได้ผังต้นไม้ที่ใหญ่ขึ้นให้ส่งผลให้ใช้จำนวนข้อสอบและเวลาที่ใช้ในการดำเนินการจัดวางข้อสอบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลให้ข้อสอบข้อที่อยู่ในตำแหน่งผังต้นไม้ในระดับล่าง ๆ มีโอกาสไม่ถูกใช้ทดสอบมีสูง ดังนั้นจึงออกแบบรูปแบบการจัดวางข้อสอบโดยแบ่งเป็นกลุ่มผังต้นไม้ย่อย ๆ หลาย ๆ ผัง โดยแต่ละผังต้นไม้จะประกอบไปด้วยจำนวนข้อสอบที่ผู้สอบสามารถทำได้สูงสุดไม่เกิน 6 ข้อ นั้นหมายความว่าต้องใช้ข้อสอบในการจัดวางทั้งหมด 21 ข้อต่อผังต้นไม้ 1 ผัง เพื่อให้ได้จำนวนการทำข้อสอบ 6 ข้อต่อชุด

การคำนวณจำนวนข้อสอบสูงสุดในแต่ละชุดที่กำหนดให้ ผู้สอบทำเป็นไปตามสมการที่ 55

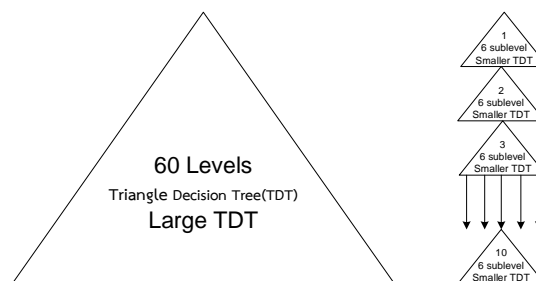
$$n = \frac{l}{st} \quad (55)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนข้อสอบสูงสุดของแต่ละชุดข้อสอบที่กำหนดให้ผู้สอบทำ

$l$  คือ จำนวนข้อสอบสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

$st$  คือ จำนวนชุดข้อสอบย่อยสูงสุด

ดังตัวอย่างภาพที่ 3-5 หากต้องการให้ผู้สอบทำข้อสอบทั้งหมดไม่เกิน 60 ข้อก็ต้องดำเนินการจัดเรียงข้อสอบบนผังต้นไม้ย่อยจำนวน 10 ผัง (10 ชุดข้อสอบ) ซึ่งแต่ละผังใช้ข้อสอบในการจัดวาง 21 ข้อ เพื่อให้สามารถทำข้อสอบชุดละไม่เกิน 6 ข้อ เป็นต้น ซึ่งการดำเนินการในรูปแบบดังกล่าวจะส่งผลให้ใช้จำนวนข้อสอบและเวลาในการจัดวางข้อสอบที่น้อยกว่า



ภาพที่ 3-5 การแทนผังต้นไม้ตัดสินใจขนาดใหญ่ด้วยผังต้นไม้ตัดสินใจย่อย

จากภาพที่ 3-5 กลุ่มข้อสอบที่นำมาใช้ในการจัดเรียงบนผังต้นไม้ตัดสินใจย่อยแต่ละผังจะต้องมีค่าความยากอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

## ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด

การออกแบบกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) เป็นขั้นตอนการดำเนินการที่สำคัญ เพื่อให้ระบบอาณานิคมมดสามารถเลือกข้อสอบข้อถัดไปได้สอดคล้องกับข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ออกแบบไว้ในขั้นตอนที่ 1

ผู้วิจัยจึงดำเนินการออกแบบกระบวนการค้นหาคำตอบของวิธีระบบอาณานิคมมด ซึ่งสามารถนำเสนอรายละเอียดการออกแบบของแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานของแต่ละรอบการเลือกข้อสอบได้ดังนี้

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ให้กับ ACS ในการดำเนินงานรอบที่ 1 การให้มดทุกตัวของวิธีระบบอาณานิคมมดสามารถเลือกข้อสอบได้ต้องดำเนินการวางฟีโรโมนเริ่มต้นที่ข้อสอบทุกข้อในคลังข้อสอบก่อน ดังนั้นรอบที่ 1 ของวิธีระบบอาณานิคมมดสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1.1 จัดเรียงข้อสอบบน TDT ตามกฎที่กำหนดไว้โดยวิธีการสุ่ม จำนวน 1 TDT

1.2 ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น ( $\tau_0$ ) กำหนดได้ดังนี้

$\tau_0 = 1/MSE_{first}$  ซึ่ง  $MSE_{first}$  คือค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าความสามารถที่แท้จริง และค่าความสามารถที่ได้จากการประมาณ ซึ่งเกิดจากการจำลองผลการตอบข้อสอบจำนวน 6 ข้อบน TDT ที่สุ่มสร้างขึ้นตามกฎดังสมการที่ 53-54 ข้างต้น โดยใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่มีความสามารถสูง ปานกลาง และต่ำจำนวนระดับความสามารถละ 5 ค่าตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 15 ค่า ในการจำลองผลการตอบข้อสอบดังกล่าว จากนั้นนำผลการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบจากการจำลองผลการทำข้อสอบทั้ง 15 ค่าไปคำนวณหาค่า MSE ดังสมการที่ 58 และกำหนดให้ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นที่วางบนข้อสอบทุกข้อมีค่าเท่ากับ  $1/MSE_{first}$  ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

การที่กำหนดให้ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นที่วางบนข้อสอบทุกข้อมีค่าเท่ากันดังนั้นในการเลือกข้อสอบมาจัดเรียงบนผัง TDT ของมดแต่ละตัวจะมีความน่าจะเป็นในการเลือกข้อสอบแต่ละข้อเท่ากันดังนั้น จึงสามารถสุ่ม TDT แต่ละผังตามกฎที่กำหนดดังกล่าว ตามจำนวนมดของแต่ละรอบการทดลองคือ 10 ตัว 20 ตัว และ 30 ตัวตามลำดับ เมื่อสุ่ม TDT เท่ากับจำนวนประชากรมดแล้ว จึงดำเนินการใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่มีความสามารถสูง ปานกลาง และต่ำจำนวนระดับความสามารถละ 5 ค่าตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 15 ค่า ในการจำลองผลการตอบข้อสอบดังกล่าว จากนั้นนำผลการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบจากการจำลองผลการทำข้อสอบทั้ง 15 ค่าไปคำนวณหาค่า MSE เมื่อได้ค่า MSE ดังกล่าวแล้ว จะพิจารณาว่า TDT ผังใดมีค่า MSE ต่ำสุดหมายความว่า TDT ผังนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ให้ผู้สอบใช้ทดสอบมากที่สุด จากนั้นนำค่าฟีโรโมนของข้อสอบทุกข้อไประเหยฟีโรโมนออกจากค่าฟีโรโมนเริ่มต้นจำนวน 3% ดังสมการที่ 59 เมื่อระเหยทุกฟีโรโมนเสร็จสิ้นแล้ว จึงดำเนินการปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบครัวทั้งระบบซึ่งจะปรับปรุงเฉพาะ TDT ที่มีค่า MSE น้อยที่สุดเท่านั้น ดังสมการที่ 60

2. การออกแบบเส้นทางให้มดแต่ละตัวใช้เป็นเส้นทางเดินไปเลือกข้อสอบ สำหรับดำเนินงานของวิธี ACS ในรอบที่ 2 เป็นต้นไป

การออกแบบเส้นทางการเดินของมดแต่ละตัวผู้วิจัยจะดำเนินการออกแบบให้อยู่ในรูปแบบโครงสร้างข้อมูลชนิดอาร์เรย์ (Array) 2 มิติ ขนาด  $n \times n$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนข้อสอบทุกข้อที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ซึ่งกลุ่มข้อสอบดังกล่าวได้ทำการแบ่งกลุ่มตามระดับความยากด้วยวิธี K-Means Clustering โดยข้อสอบตามแนวแกน X หมายถึงข้อสอบข้อถัดไป และข้อสอบตามแนวแกน Y หมายถึงข้อสอบข้อก่อนหน้า ดังนั้นการเลือกข้อสอบข้อถัดไป (ข้อที่  $j$ ) จากข้อสอบข้อก่อนหน้า (ข้อที่  $i$ ) เพื่อวางตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดบน TDT จะดำเนินการตามสมการ 56

$$j = \begin{cases} \operatorname{argmax}_{c_{il} \in N(s^p)} \{ \tau_{il} \} & \text{if } q \leq q_0, \\ J & \text{otherwise} \end{cases} \quad (56)$$

เมื่อ  $N(s^p)$  คือ เซตของข้อสอบข้อที่  $i$  ไปยังข้อสอบข้อถัดไปซึ่งมดตัวยังไม่ได้เลือก  
 $c_{il}$  คือ ข้อสอบที่มดตัวสามารถเลือกได้  
 $l$  คือ ข้อสอบที่มดตัวยังไม่ได้เลือก  
 $\tau_{il}$  คือ ค่าฟีโรโมนของข้อสอบที่มดตัวสามารถเลือกได้  
 $q_0$  คือ ค่าคงที่ ( $0 \leq q_0 \leq 1$ ) ส่วน  $q$  คือค่าสุ่มที่อยู่ในช่วง  $[0, 1]$   
 (แต่ละเส้นทาง จะสุ่มค่า  $q$  ใหม่ทุกครั้ง)

ถ้า  $q \leq q_0$  มดตัวที่  $k$  จะเลือกข้อสอบลำดับที่  $j$  ที่มีค่าฟีโรโมนมากที่สุด

แต่ถ้า  $q > q_0$  จะเลือกข้อสอบลำดับที่  $J$  ซึ่ง  $J$  คือลำดับข้อสอบที่ได้จากการสุ่มโดยอาศัย

ค่าความน่าจะเป็นของการถูกเลือกของข้อสอบแต่ละข้อแทนด้วย  $p_{ij}$  ซึ่งค่า  $p_{ij}$  ของข้อสอบแต่ละข้อคำนวณได้จากสมการ 57

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{c_{ij} \in N(s^p)} \tau_{il}} \quad (57)$$

เมื่อ  $p_{ij}$  คือ ความน่าจะเป็นของข้อสอบข้อที่  $i$  ไปยังข้อที่  $j$

$\tau_{ij}$  คือ ค่าฟีโรโมนของข้อสอบข้อที่  $i$  ไปยังข้อที่  $j$

เมื่อได้ความน่าจะเป็นที่ข้อสอบแต่ละข้อมีโอกาสถูกเลือกเป็นข้อสอบข้อถัดไปแล้ว ลำดับต่อไปจะใช้หลักการของวงกลมรูเล็ต (Roulette Wheel) ในการสุ่มหาข้อสอบข้อถัดไป หากข้อสอบข้อใดมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดย่อมมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด ตัวอย่างการเลือกข้อสอบของมดแต่ละตัวแสดงดังภาพที่ 3-6



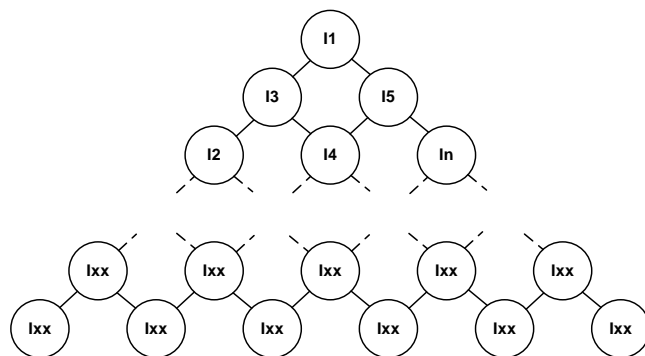
ข้อสอบ ข้อที่	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	...	$l_n$
$l_1$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	มดเลือก	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$
$l_2$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	มดเลือก	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$
$l_3$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	มดเลือก	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$
$l_4$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	มดเลือก
$l_5$	$\tau_{ij}$	มดเลือก	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$
:	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$
$l_n$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$	$\tau_{ij}$

ภาพที่ 3-6 เส้นทางการเดินของมดในการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ

จากภาพที่ 3-6 เมื่อกำหนดข้อสอบข้อแรกที่มดเลือกคือข้อสอบข้อที่  $l_1$  มดจะมีเส้นทางการเลือกข้อสอบข้อถัดไปบนทางเดินที่ได้ออกแบบไว้ ดังนี้

$$l_1 \rightarrow l_3 \rightarrow l_5 \rightarrow l_2 \rightarrow l_4 \rightarrow l_n \rightarrow \dots$$

จากตัวอย่างเส้นทางการเลือกข้อสอบของมดดังกล่าวสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของโครงสร้างข้อมูล TDT ได้ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 การจัดเรียงข้อสอบแต่ละข้อที่ถูกเลือกโดยวิธีระบบอานานิคมมด

จากภาพที่ 3-7 เมื่อมดแต่ละตัวทำการค้นหาข้อสอบแต่ละข้อมาจัดเรียงบน TDT ตามกฎและรูปแบบที่กำหนดไว้เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการวัดค่าความเหมาะสมของ TDT ทุกผังเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมนำไปปรับค่าฟีโรโมนในแต่ละรอบการค้นหาข้อสอบของมดทุกตัว เมื่อครบจำนวนรอบการค้นหาที่กำหนดแล้วจึงเลือก TDT ที่มีค่าความเหมาะสมที่สุดไปให้ผู้สอบทำการทดสอบ ซึ่ง TDT ที่ได้ในแต่ละรอบการค้นหาของวิธี ACS จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนประชากรมดที่กำหนดไว้ในแต่ละรอบเช่นกัน

กระบวนการวัดค่าความเหมาะสมของ TDT ดังกล่าวในระหว่างกระบวนการของ ACS จะดำเนินการโดยจำลองผลการตอบข้อสอบจำนวน 6 ข้อต่อ TDT หนึ่งผัง การจำลองผลการตอบข้อสอบดังกล่าวจะใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่มีความสามารถสูง ปานกลาง และต่ำ จำนวนอย่างละ 5 ค่าตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 15 ค่า ในการจำลองผลการตอบข้อสอบ จากนั้นคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของค่าความสามารถที่แท้จริง และค่าความสามารถที่ได้จากการประมาณค่า ดังสมการที่ 58 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินความเหมาะสมของแต่ละ TDT

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (\hat{\theta}_m - \theta_m)^2 \quad (58)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมด

$\hat{\theta}_m$  คือ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $m$

$\theta_m$  คือ ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $m$

ดังนั้นสมการที่ 58 จึงเป็นสมการที่ใช้วัดความเหมาะสม (Fitness Function) ถ้า TDT ผังใดที่มีข้อสอบจัดเรียงได้อย่างเหมาะสมจะมีค่า MSE ดังกล่าวน้อยที่สุด และจะนำค่า MSE ดังกล่าวไปปรับค่าฟีโรโมนแบบเฉพาะบริเวณของมดในลำดับต่อไป

### 3. การปรับปรุงค่าฟีโรโมนแบบเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

จะปรับปรุงในทุกเส้นทางที่มดแต่ละตัวได้เลือกข้อสอบข้อถัดไป  $j$  ในขณะที่ปัจจุบันมดอยู่ที่ตำแหน่งข้อสอบข้อก่อนหน้า  $i$  ซึ่งปริมาณฟีโรโมนบนด้านที่เชื่อมต่อระหว่างข้อสอบข้อที่  $i$  ไปยังข้อสอบข้อที่  $j$  ( $\tau_{ij}$ ) จะถูกปรับปรุงด้วยสมการ 59

$$\tau_{ij} = (1 - \varphi) \cdot \tau_{ij} + \varphi \cdot \tau_0 \quad (59)$$

ซึ่ง  $\tau_0$  คือ ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน

$\varphi$  คือ สัมประสิทธิ์ของการเสื่อมสลายของฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณ

ซึ่ง  $\varphi \in (0,1]$

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนดังกล่าว เป็นการนำค่าฟีโรโมนของข้อสอบทุกข้อไปประเหยฟีโรโมนออกจากค่าฟีโรโมนเดิมจำนวน 3% เมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วจึงนำค่าฟีโรโมนของข้อสอบทุกข้อที่ถูกจัดวางไว้บนผัง TDT ที่มีค่า MSE น้อยที่สุดไปปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบต่อไป

### 4. การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

เมื่อครบรอบของการทำงานในแต่ละรอบแล้ว จะพิจารณาปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะเส้นทางของมดตัวที่มีค่า MSE ที่น้อยที่สุด ( $MSE_{best}$ ) มาเป็นค่าในการปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบดังสมการ 60

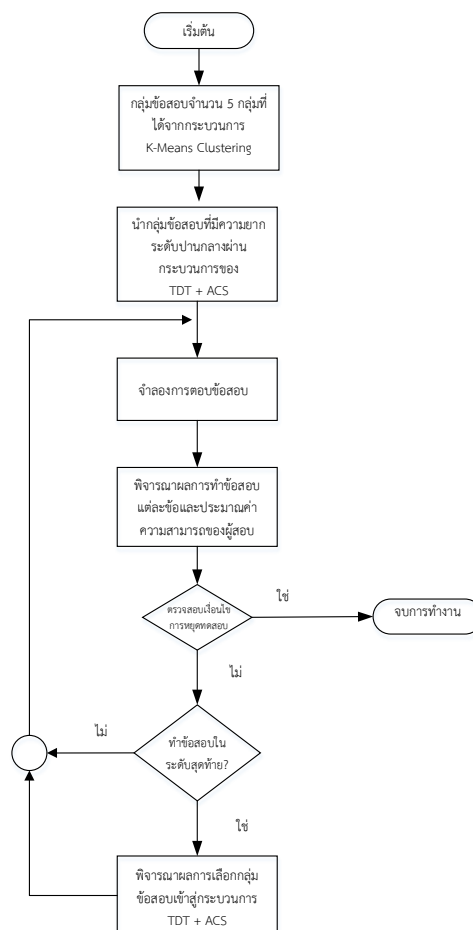
$$\tau_{ij} \leftarrow \begin{cases} (1-\rho)\tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} & \text{if } (i, j) \text{ belongs to best tour,} \\ \tau_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (60)$$

โดย  $\rho \in (0,1]$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเสื่อมสลายของฟีโรโมนแบบครอบคลุม  
ทั้งระบบ และ  $\Delta\tau_{ij} = 1/MSE_{best}$

การดำเนินการทั้งหมดข้างต้นนั้นจะดำเนินการวนซ้ำ ๆ ไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบสูงสุด  
ที่กำหนดไว้เพื่อให้วิธี ACS ค้นหา TDT ที่เหมาะสมที่สุด เมื่อถึงรอบสุดท้ายให้พิจารณาว่า TDT ของ  
มดตัวใดที่ให้ค่า MSE น้อยที่สุดจะนำ TDT ผังนั้นไปใช้ในการทดสอบ

**ขั้นตอนที่ 3 การเชื่อมโยงกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ให้  
สัมพันธ์กับวิธีระบบอาณานิคมมดที่ออกแบบไว้**

การดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไป  
โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่ผู้วิจัยนำเสนอมีขั้นตอนการดำเนินการดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 การดำเนินการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไป  
โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

จากภาพที่ 3-8 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เตรียมกลุ่มข้อสอบที่ผ่านกระบวนการของวิธี K-Means Clustering ทั้ง 5 กลุ่ม ได้ดังนี้ ดังนี้ 1. ง่ายมาก (Very Easy) 2. ง่าย (Easy) 3. ปานกลาง (Medium) 4. ยาก (Hard) และ 5. ยากมาก (Very Hard)

2. นำกลุ่มข้อสอบที่มีความยากระดับปานกลางเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด เพื่อเลือกข้อสอบมาจัดเรียงตามตำแหน่งบน TDT ที่ออกแบบไว้

3. ให้ผู้สอบทำข้อสอบข้อถัดไปตามรูปแบบที่วิธีระบบอาณานิคมมดเลือกให้

4. ทำการจำลองผลการตอบข้อสอบ

เนื่องจากในสถานการณ์จำลองไม่มีผู้สอบที่แท้จริง ดังนั้น ในการเขียนโปรแกรมจำลองสถานการณ์การทดสอบ จึงต้องจำลองผลการตอบข้อสอบแต่ละข้อของผู้สอบ ซึ่งดำเนินการโดยให้โปรแกรมสุ่มเลขที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม  $U(0, 1)$  มา 1 ค่า แล้วนำเลขสุ่มนี้มาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่ผู้สอบที่มีความสามารถ  $\theta$  ตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง ( $P_i(\theta)$ ) ตามโมเดลโลจิสติกสามพารามิเตอร์ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 61

ผลการตอบข้อสอบจะกำหนดได้จากเงื่อนไขดังนี้ (Thompson & Weiss, 2011) กรณีที่ค่า  $P_i(\theta) \geq$  เลขสุ่ม ให้กำหนดผลการตอบข้อสอบเป็น 1 (ตอบถูก) กรณีที่ค่า  $P_i(\theta) <$  เลขสุ่ม ให้กำหนดผลการตอบข้อสอบเป็น 0 (ตอบผิด)

$$P_i(\theta) = c_i + \frac{1-c_i}{1+e^{-Da_i(\theta-b_i)}} \quad i = 1,2,3, \dots, n \quad (61)$$

เมื่อ  $P_i(\theta)$  คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้สอบซึ่งมีความสามารถ ( $\theta$ ) ตอบข้อสอบข้อที่  $i$  ได้ถูกต้อง

$\theta$  คือ ระดับความสามารถของผู้สอบ

$b_i$  คือ ค่าความยากของข้อสอบข้อที่  $i$

$a_i$  คือ ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบข้อที่  $i$

$c_i$  คือ ค่าการเดาของข้อสอบข้อที่  $i$

$D$  คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 1.7

5. พิจารณาผลลัพธ์ของการทำข้อสอบแต่ละข้อพร้อมทั้งทำการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบโดยใช้วิธีเบย์สปรับปรุงใหม่ (Bayesian Updating)

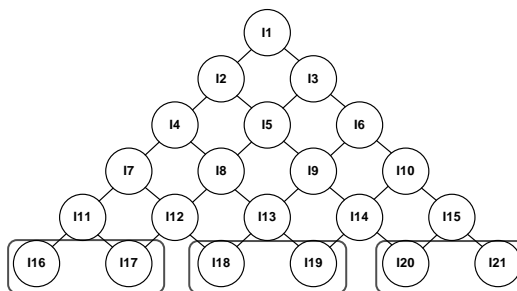
6. ตรวจสอบเกณฑ์การยุติการทดสอบจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 2 กรณีพร้อมกัน ดังนี้

6.1 กรณีที่ทำข้อสอบครบอย่างน้อย 15 ข้อ จากเหตุการณ์ดังนี้ (1) เมื่อทำข้อสอบแต่ละชุดแล้วผลลัพธ์ที่ได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มความยากของข้อสอบมากขึ้นหรือง่ายลงเรื่อย ๆ ไปจนหมดกลุ่มข้อสอบทั้ง 5 กลุ่ม (2) ทำข้อสอบแล้วยังวนทำอยู่กลุ่มความยากเดิม ก็ให้ยุติการทดสอบ

6.2 กรณีที่ทำข้อสอบแต่ละชุดแล้วผลลัพธ์ที่ได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มครั้งที่หรือขึ้น ๆ ลง ๆ สลับไปมาก็จะใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของค่าความสามารถที่ต่ำกว่า 0.3

7. ตรวจสอบว่าข้อสอบที่ผู้ทดสอบทำเป็นข้อสอบที่อยู่ในระดับสุดท้ายของ TDT แล้วหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ข้อที่ 3.3 ใหม่ และถ้าใช่ให้ดำเนินการตามข้อที่ 3.8

8. พิจารณาเลือกข้อสอบกลุ่มต่อไปเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด โดยหลักการพิจารณาการเปลี่ยนกลุ่มข้อสอบเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมดซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบไว้แล้ว สามารถอธิบายโดยใช้ภาพที่ 3-9 เป็นตัวอย่างประกอบได้ดังนี้



ภาพที่ 3-9 รูปแบบของกลุ่มข้อสอบที่ถูกเลือกด้วยวิธีระบบอาณานิคมมด

จากภาพที่ 3-9 สามารถอธิบายเงื่อนไขการเลือกกลุ่มข้อสอบแบ่งเป็น 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้าผู้ทดสอบทำข้อสอบในระดับสุดท้ายบน TDT คือข้อสอบข้อที่ 116 หรือ 117 ดังนั้นข้อสอบกลุ่มต่อไปที่จะถูกเลือกเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมดคือกลุ่มข้อสอบที่มีระดับความยากลดลงหนึ่งระดับ

กรณีที่ 2 ถ้าผู้ทดสอบทำข้อสอบในระดับสุดท้ายบน TDT คือข้อสอบข้อที่ 118 หรือ 119 ดังนั้นข้อสอบกลุ่มต่อไปที่จะถูกเลือกเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมดคือกลุ่มข้อสอบกลุ่มเดิม

กรณีที่ 3 ถ้าผู้ทดสอบทำข้อสอบในระดับสุดท้ายบน TDT คือข้อสอบข้อที่ 120 หรือ 121 ดังนั้นข้อสอบกลุ่มต่อไปที่จะถูกเลือกเข้าสู่กระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมดคือกลุ่มข้อสอบที่มีระดับความยากเพิ่มขึ้นหนึ่งระดับ

เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าวเรียบร้อยแล้วให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ข้อที่ 3 ใหม่ อีกครั้ง

นอกจากกระบวนการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยยังกำหนดวิธีการควบคุมการใช้ข้อสอบ และวิธีการควบคุมสัดส่วนเนื้อหาข้อสอบ มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการควบคุมการใช้ข้อสอบ (Item Exposure Control) ได้ออกแบบให้การเลือกข้อสอบให้ผู้สอบใช้ในการทดสอบ มีการเลือกแบบกระจายตัว โดยใช้หลักการผสมผสานทั้ง 3 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 ประยุกต์วงกลมรูเล็ต (Roulette Wheel) ในกระบวนการเลือกข้อสอบ วิธีการใช้วงกลมรูเล็ต มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

(1) ใช้สมการที่ 57 แปลงค่าความน่าสนใจ (Attractiveness) ของข้อสอบทุกข้อที่มีค่าพารามิเตอร์เป็นไปตามกฎการเลือกข้อสอบดังสมการที่ 53-54 ให้เป็นค่าความน่าจะเป็น (Probability)

(2) หาค่าความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability) เพื่อแบ่งพื้นที่ความน่าจะเป็นของข้อสอบแต่ละข้อบนพื้นที่วงกลมรูเล็ด โดยข้อสอบข้อใดมีความน่าจะเป็นสูงจะมีพื้นที่บนวงกลมรูเล็ดมากกว่าข้อสอบที่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำกว่า

(3) สุ่มตัวเลขมา 1 ค่า ที่อยู่ระหว่าง  $[0,1]$  หากตัวเลขสุ่มนี้ตกอยู่ในช่วงใดของวงกลมรูเล็ด จะเลือกข้อสอบข้อนั้นให้ผู้สอบใช้ทดสอบต่อไป

วิธีที่ 2 การใช้โครงสร้างข้อมูลแบบ Triangle Decision Tree จำนวน 6 ระดับ ในการเลือกข้อสอบมาจัดเรียงบนผังต้นไม้ตัดสินใจ การใช้โครงสร้างข้อมูลแบบ Triangle Decision Tree จำนวน 6 ระดับ ในการเลือกข้อสอบมาจัดวางนั้น ถือเป็นรูปแบบมาตรฐานที่มีความเหมาะสม (Phankokkruad & Woraratpanya, 2012) เนื่องจากจะส่งผลให้ข้อสอบถูกเลือกแบบกระจายตัว และลดระยะเวลาในการเลือกข้อสอบมาจัดวาง

วิธีที่ 3 การใช้หลักการระเหยฟีโรโมน (Evaporation) ของวิธีอาณานิคมมด

ในกระบวนการเลือกข้อสอบของวิธีอาณานิคมมดเมื่อข้อสอบข้อใดถูกเลือกจะส่งผลให้ข้อสอบข้อนั้นมีค่าฟีโรโมนสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจทำให้ข้อสอบข้อนั้นอาจถูกเลือกให้แสดงซ้ำในกระบวนการเลือกข้อสอบรอบถัดไป ดังนั้นจึงต้องทำการปรับลดระดับฟีโรโมนของข้อสอบข้อนั้นลงตามอัตราการระเหยฟีโรโมน (Evaporation Rate) ที่กำหนดเพื่อให้ข้อสอบข้ออื่น ๆ มีโอกาสถูกเลือกมากขึ้น

วิธีการควบคุมสัดส่วนเนื้อหาของข้อสอบ (Content Balancing Control) ผู้วิจัยได้ปรับปรุงจากวิธี 5-4-3-2-1 ซึ่งเป็นวิธีที่เสนอโดย McBride and Martin (1983) มีขั้นตอนดังนี้

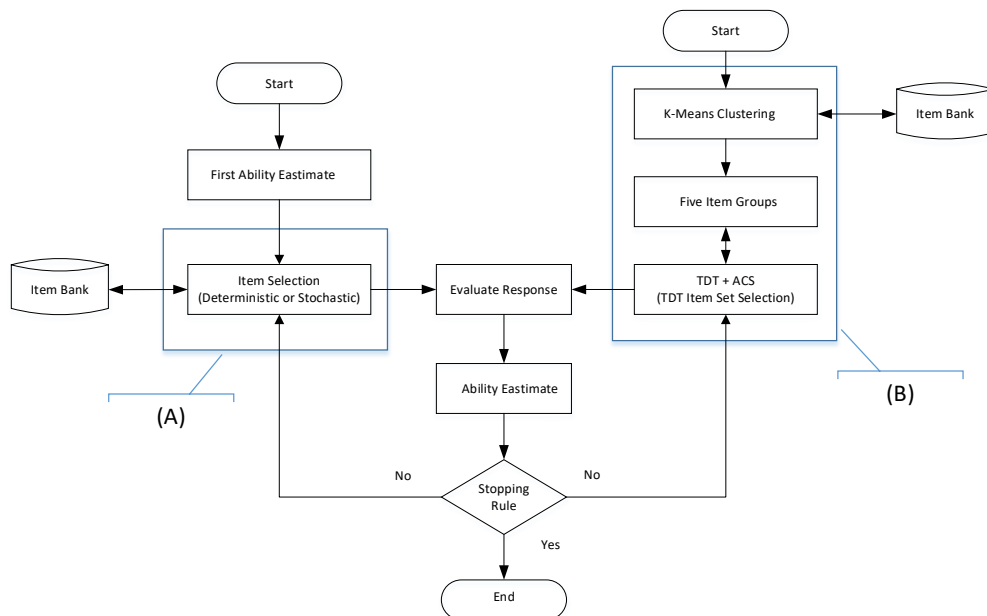
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ข้อสอบทุกระดับความยากประกอบไปด้วยทุกเนื้อหาของข้อสอบ เช่น ถ้าเนื้อหาข้อสอบประกอบไปด้วย 7 เรื่อง ดังนั้นข้อสอบที่ความยากทั้งหมด 5 ระดับ คือ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) (Karahora & Ince, 2009) จะต้องมีเนื้อหาข้อสอบทั้ง 7 เรื่องอยู่ในทุก ๆ ระดับ

ขั้นตอนที่ 2 ทุกครั้งที่เลือกข้อสอบจัดวางลงบนโครงสร้างข้อมูลแบบ Triangle Decision Tree ในแต่ละระดับชั้น จะต้องสุ่มเนื้อหาของข้อสอบก่อนเสมอ จากนั้นจึงทำการเลือกข้อสอบข้อที่เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบเป็นลำดับต่อไป ซึ่งการสุ่มเนื้อหาของข้อสอบดังกล่าวจะเป็นการสุ่มแบบไม่คืนค่ากลับคืน การสุ่มจะดำเนินการไปจนครบจำนวนเนื้อหาของข้อสอบที่มีทั้งหมด จากนั้นจึงเริ่มนำเนื้อหาข้อสอบทั้งหมดกลับมาสุ่มแบบไม่คืนค่ากลับคืนใหม่ จนกว่าจะหยุดการทดสอบ

ขั้นตอนการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาขึ้นดังรายละเอียดข้างต้น จัดอยู่ในกลุ่มการพัฒนาการเลือกข้อสอบโดยใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้นสามารถมองรูปแบบปัญหาอยู่ในลักษณะของการค้นหากลุ่มข้อสอบที่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบเพื่อให้ผู้สอบได้ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นวิธีระบบ

อาณานิคมมด (Ant Colony System) ซึ่งเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่อยู่ในกลุ่มของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประยุกต์แก้ปัญหาลักษณะข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้ เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือเรียกกระบวนการค้นหาคำตอบในรูปแบบดังกล่าวว่าการค้นหาแบบเมตาฮีริสติก (Metaheuristic)

อย่างไรก็ตามระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปด้วยวิธีที่นำเสนอ จะมีข้อแตกต่างจากระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีคัดเลือกข้อสอบแบบเดิมอยู่หลายประเด็น ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีคัดเลือกข้อสอบแบบใช้สมการเปรียบเทียบกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

จากภาพที่ 3-10 จุด (A) วิธีเดิมคือระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบแบบเดิมซึ่งจะใช้วิธีการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในรูปแบบ Deterministic หรือ Stochastic ซึ่งสมการดังกล่าวจะมีรูปแบบสมการที่ตายตัวที่นำไปตัดสินว่าการเลือกข้อสอบข้อถัดไปควรจะเป็นข้อใดของทุก ๆ การทดสอบ โดยไม่มีกระบวนการเรียนรู้ปัญหาจากคลังข้อสอบของแต่ละการทดสอบโดยตรง ส่งผลให้วิธีการไม่ยืดหยุ่นกับปัญหาเนื่องจากผลลัพธ์จากสมการดังกล่าวถูกกำหนดไว้ในทิศทางที่ตายตัว ทำให้ไม่มีโอกาสในการค้นหาคำตอบใหม่ที่เหมาะสมกว่า ดังนั้นคำตอบที่ได้อาจเป็นคำตอบที่มีความเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Minima) เท่านั้น แท้จริงแล้วอาจยังมีคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าซ่อนอยู่แต่กระบวนการไม่ได้ออกแบบให้สามารถค้นหาคำตอบเหล่านั้นได้ ซึ่งวิธีการเลือกข้อสอบในกลุ่ม Deterministic หรือ Stochastic

ที่นำมาเปรียบเทียบคือ วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ

จากภาพที่ 3-10 จุด (B) วิธีใหม่คือระบบการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดที่นำเสนอ ซึ่งวิธีการจะทำการออกแบบกระบวนการที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้กับปัญหาการเลือกข้อสอบในคลังข้อสอบของแต่ละการทดสอบได้โดยตรงซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความยืดหยุ่นกับปัญหา เนื่องจากมีการออกแบบให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถคิดวิเคราะห์เพื่อค้นหาคำตอบได้หลากหลายและตัดสินใจเลือกคำตอบที่ดีที่สุดนำมาใช้งาน

จากรายละเอียดการเปรียบเทียบดังกล่าวสามารถสรุปข้อแตกต่างได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการคัดเลือกข้อสอบแบบเดิมกับวิธีระบบอาณานิคมมด

วิธีการคัดเลือกข้อสอบแบบเดิม	วิธีการคัดเลือกข้อสอบที่นำเสนอ
1. ใช้วิธีการสร้างสมการในรูปแบบ Deterministic หรือ Stochastic	1. ออกแบบกระบวนการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดซึ่งเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ในกลุ่มของแมชชีนเลิร์นนิง ร่วมกับการใช้โครงสร้างข้อมูลต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยมในการเลือกข้อสอบ และการเปลี่ยนกลุ่มความยากข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบ
2. เลือกข้อสอบจากคลังข้อสอบโดยตรง	2. เลือกข้อสอบจากกลุ่มข้อสอบที่ผ่านการแบ่งกลุ่มโดยใช้วิธีทางด้านเหมืองข้อมูลคือ K-Means Clustering

## ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบ

การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นอัลกอริทึมในการคัดเลือกข้อสอบวิธีใหม่ที่ยังไม่มีใครพัฒนาขึ้น และไม่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อการทดสอบวิชาใดวิชาหนึ่ง ดังนั้นนักวิจัยท่านใดก็ตามที่ทำวิจัยเกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ประยุกต์กับการทดสอบเรื่องใดก็ตาม สามารถนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปตามวิธีที่นำเสนอไปปรับใช้ได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบวิธีการหรืออัลกอริทึมการเลือกข้อสอบที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวผู้วิจัยจึง มีเลือกใช้วิธีการศึกษาในสถานการณ์จำลอง เพื่อให้แน่ใจว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น (ตัวแปรตาม) เป็นผลมาจากความแตกต่างของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (ตัวแปรต้น) ไม่ได้เกิดจากตัวแปรแทรกซ้อนอื่น ๆ เช่น อารมณ์ของผู้สอบ หรือสภาพแวดล้อมขณะทดสอบ ซึ่งการควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนให้คงที่ตลอดการศึกษาในสถานการณ์จริงเป็นไปได้ยากมาก นอกจากนี้ การ



วัดประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบนั้น จำเป็นต้องทราบค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบซึ่งในสถานการณ์จริงไม่สามารถหาค่าได้ จากที่กล่าวมาข้างต้นมีขั้นตอนการดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบอัลกอริทึมการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดคือ การจำลองสถานการณ์การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่จำลองขึ้นมี 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) สร้างขึ้นโดยการสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 โดยจะสุ่มค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบทั้งหมด 10,000 ค่า แบ่งเป็นชุด ๆ ละ 1,000 ค่า

ส่วนที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบ 3 พารามิเตอร์ โดยจะจำลองข้อสอบทั้งหมด 500 ข้อ ซึ่งกำหนดการสุ่มพารามิเตอร์แต่ละตัว ดังต่อไปนี้

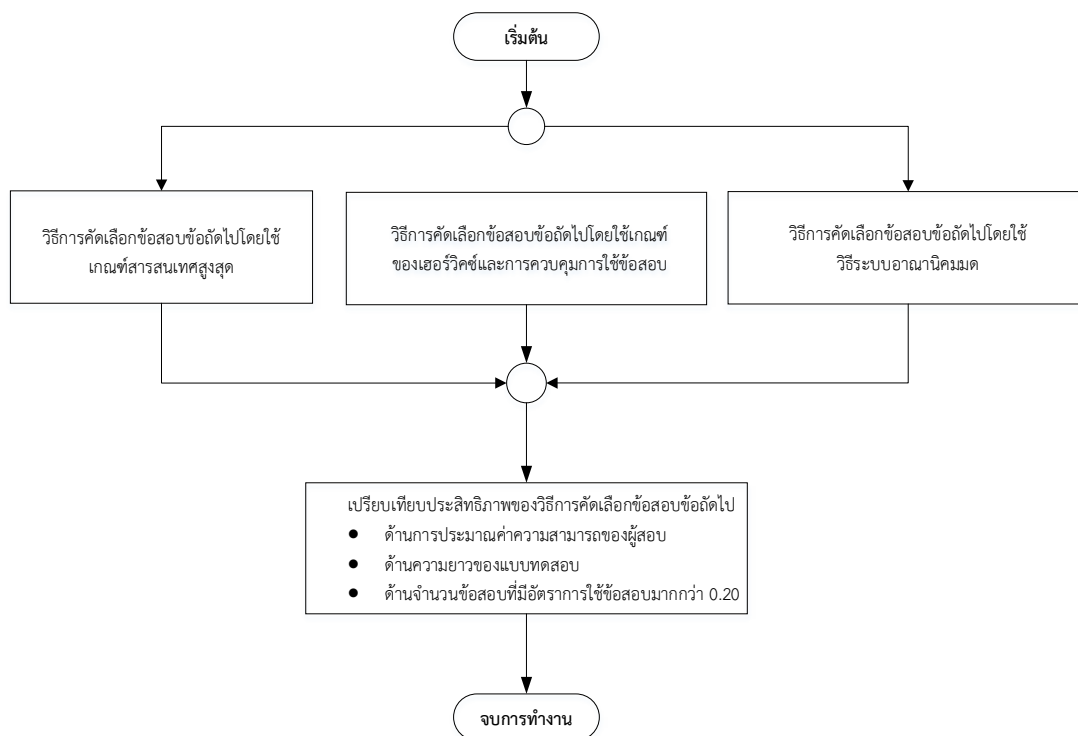
ก. ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discrimination Power Parameter: a) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 2.50

ข. ค่าความยากของข้อสอบ (Difficulty Parameter: b) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าอยู่ในช่วง -2.50 ถึง 2.50

ค. ค่าการเดาของข้อสอบ (Guess Parameter: c) สุ่มจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม มีค่าไม่เกิน 0.30

### 2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ กับ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ ในด้าน 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ 2) ความยาวของแบบทดสอบ และ 3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 เป็นไปตามภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไป

จากภาพที่ 3-11 เป็นการศึกษาในสถานการณ์จำลองของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ได้กำหนดให้แต่ละวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ทำการทดลองซ้ำ 10 รอบ โดยทุกรอบใช้คลังข้อสอบจำลอง 500 ข้อชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด (ชุดละ 1,000 ค่า) เริ่มจากรอบที่ 1 ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 1 รอบที่ 2 ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 2 จนกระทั่งครบ 10 รอบ แล้วในแต่ละรอบได้เก็บข้อมูล ได้แก่ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) ความยาวของแบบทดสอบ และจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปทั้ง 3 วิธีดังกล่าว

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ วิเคราะห์ด้วยสถิติดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ ใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ดังนั้นค่า RMSE ขนาดเล็กบอถึงการประมาณค่าความสามารถมีความแตกต่างจากค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบน้อยมาก (Yan et al., 2014, p. 115) และค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) หมายถึงค่าบอกความเที่ยงตรงของค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ แสดงเป็นผลต่างเฉลี่ยระหว่าง

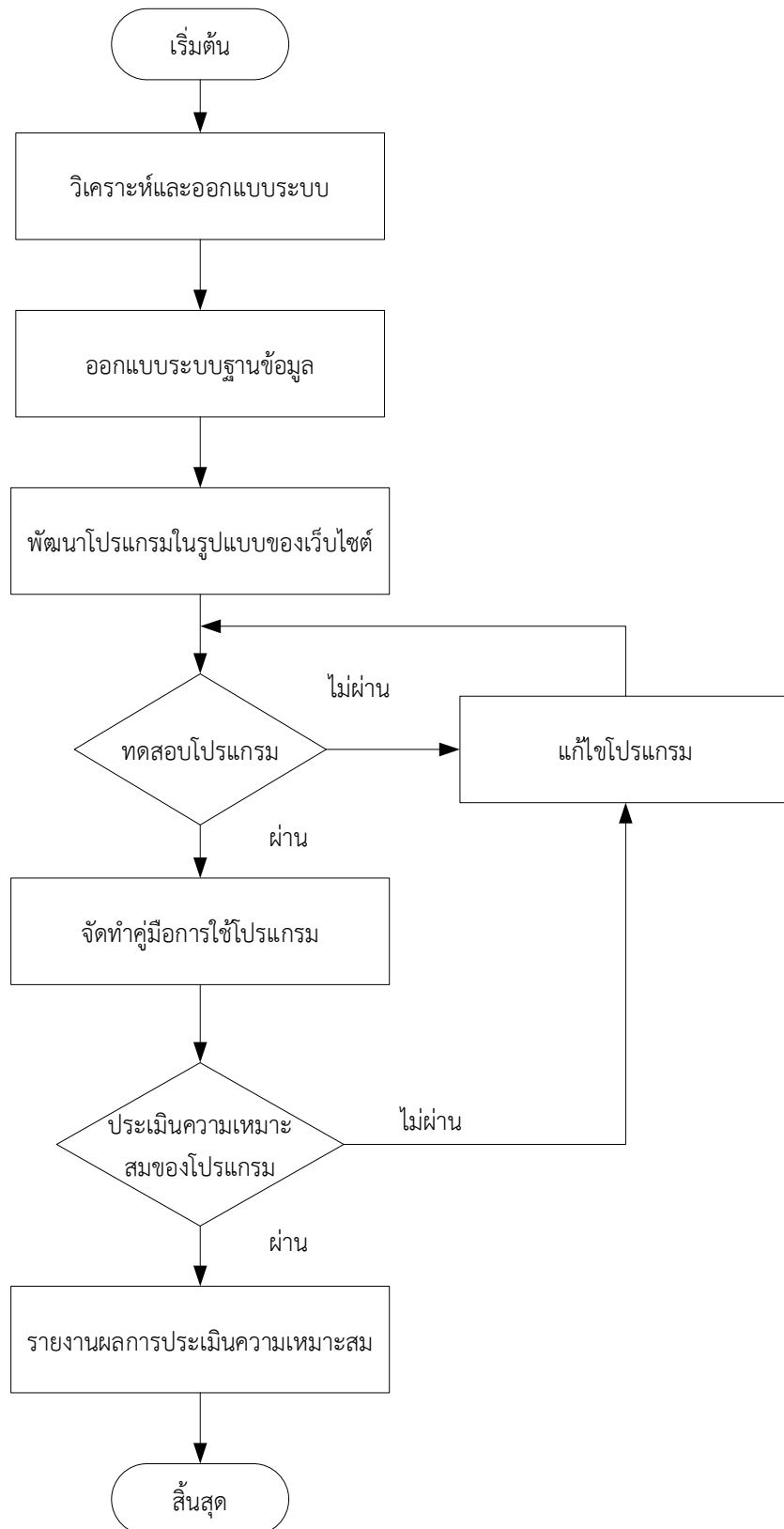
ค่าประมาณความสามารถและค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ สามารถบอกทิศทางการประมาณค่าว่าให้ผลสูงหรือต่ำกว่าค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ค่าความลำเอียงเฉลี่ยขนาดเล็กสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Yan et al., 2014, p. 115) จากนั้นนำค่า RMSE และค่า Average Bias ของแต่ละวิธีไปเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA)

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ ใช้ค่ากลาง (Median) ในการวัดประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบของแต่ละวิธี จากนั้นทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ด้วยการทดสอบ Dunn-Bonferroni วิธีใดมีค่าเฉลี่ยของอันดับน้อยที่สุดจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพด้านความยาวแบบทดสอบสูงสุด

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ใช้ค่ากลาง (Median) ในการวัดประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ของแต่ละวิธี จากนั้นทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ ด้วยการทดสอบ Dunn-Bonferroni วิธีใดมีค่าเฉลี่ยของอันดับน้อยที่สุดจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 สูงสุด

### **ระยะที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ระดับปริญญาตรี**

แนวทางของการนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดที่นำเสนอไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงดำเนินการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมตามภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

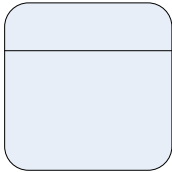

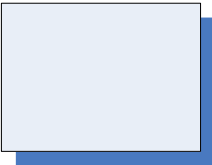

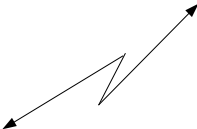
จากภาพที่ 3-12 แสดงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมดังนี้

### 1. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

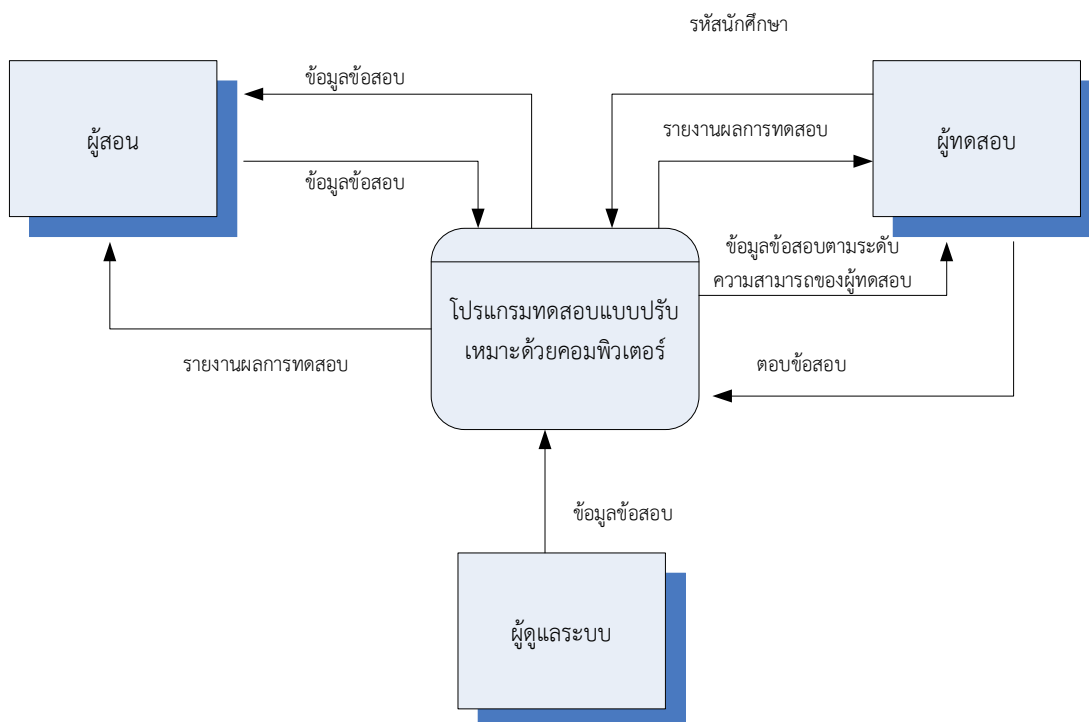
#### 1.1 แผนผังบริบท (Context Diagram)

การวิเคราะห์และออกแบบเริ่มต้นจากการเขียนแบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ในรูปแบบของแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระแสข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระแสข้อมูล

สัญลักษณ์	ความหมาย	คำอธิบาย
	Process	การประมวลผล
	Data Flow	กระแสข้อมูล
	External Entity	แหล่งที่มา/ปลายทางหรือ สิ่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตระบบ
	Data Store	แหล่งเก็บข้อมูล
	Real-Time Link	การเชื่อมโยงสื่อสารระยะไกลที่มีการโต้ตอบกันแบบทันทีทันใด

จากการวิเคราะห์บุคคลและกระแสข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สามารถเขียนผังบริบท (Context Diagram) ได้ดังภาพที่ 3-13

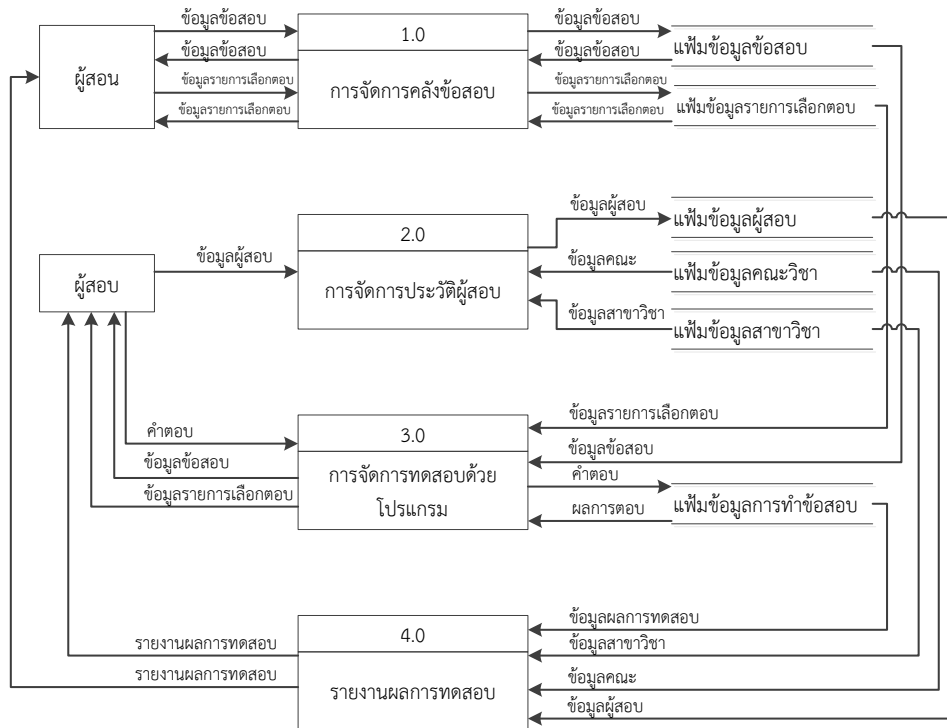


ภาพที่ 3-13 แผนผังบริบท (Context Diagram) ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-13 แสดงการรับส่งข้อมูลระหว่างกระบวนการ (Process) และ ผู้ที่เกี่ยวข้อง(External Entity) ซึ่งสามารถอธิบายความเงื่อนไขได้ดังนี้ 1) ผู้ดูแลระบบ หมายถึง เจ้าหน้าที่ควบคุมระบบ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อสอบในคลังข้อสอบได้ 2) ผู้สอนหมายถึง อาจารย์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการรับทราบผลการทดสอบของผู้เข้าทดสอบ และสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อสอบในคลังข้อสอบได้ด้วยตนเอง และ 3) ผู้สอบหมายถึง นักศึกษาคณะกรรมการбин ชั้นปีที่ 3

#### 1.2 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 0 (Data Flow Diagram Level 0)

หลังจากการวิเคราะห์แผนผังบริบท (Context Diagram) เรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์ผังการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) ตามระดับต่าง ๆ โดยเริ่มจากระดับ 0 ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 0 (Data Flow Diagram Level 0) ของการ ทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-14 แสดงการรับส่งข้อมูลของกระบวนการหลักในโปรแกรมการทดสอบ ซึ่งแต่ละกระบวนการหลักมีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการหลักที่ 1 การจัดการคลังข้อสอบ เป็นกระบวนการที่ใช้จัดเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นข้อสอบที่ใช้ในการวัดความรู้ของผู้สอบ โดยข้อสอบที่เก็บเข้าคลังข้อสอบนี้ ต้องเป็นข้อสอบแบบ 4 ตัวเลือก และผ่านการวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบตามหลักทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบตรงจ ให้คะแนน 2 ค่า (Dichotomous IRT) แบบ 3 พารามิเตอร์ ข้อสอบแต่ละข้อต้องมีค่าความยากของข้อสอบ (b) ตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 มีค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) ตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.50 และมีค่าการเดาของข้อสอบไม่เกิน 0.30

กระบวนการหลักที่ 2 การจัดการประวัติผู้สอบ เป็นกระบวนการที่ใช้จัดเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นประวัติทั่วไปของผู้สอบ

กระบวนการหลักที่ 3 การจัดการทดสอบด้วยโปรแกรม เป็นกระบวนการดำเนินการทดสอบ ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

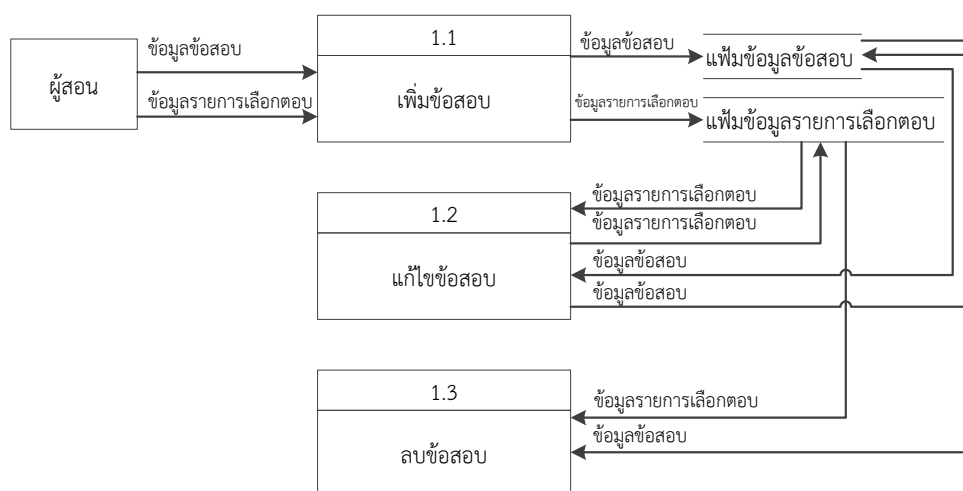
กระบวนการหลักที่ 4 การรายงานผลการสอบ เป็นกระบวนการที่นำข้อมูล ซึ่งเป็นผลการสอบ มาจัดทำเป็นรายงานแล้วนำเสนอให้ผู้สอบ หรือผู้เกี่ยวข้องทราบ

### 1.3 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 1 (Data Flow Diagram Level 1)

แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 1 หมายถึงการแสดงรายละเอียดของกระบวนการในแผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 0 ที่สามารถมีกระบวนการย่อยลงไปได้อีก ดังนี้

#### 1.3.1 กระบวนการจัดการคลังข้อสอบ

กระบวนการจัดการคลังข้อสอบสามารถมีกระบวนการย่อยได้อีก 3 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการเพิ่มข้อสอบ 2) กระบวนการแก้ไขข้อสอบ และ 3) กระบวนการลบข้อสอบ แสดงได้ดังภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3-15 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 1 (Data Flow Diagram Level 1) ของกระบวนการจัดการคลังข้อสอบ

จากภาพที่ 3-15 แสดงแผนผังการรับส่งข้อมูลในกระบวนการจัดการคลังข้อสอบ ซึ่งมีกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ คือ

กระบวนการเพิ่มข้อสอบ เป็นการเพิ่มข้อสอบใหม่ลงในคลังข้อสอบ โดยข้อสอบที่เพิ่มลงไปต้องเป็นข้อสอบแบบ 4 ตัวเลือก มีค่าความยากของข้อสอบ ตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 มีค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ตั้งแต่ 0.50 ถึง 2.50 และมีค่าการเดาของข้อสอบ ไม่เกิน 0.30

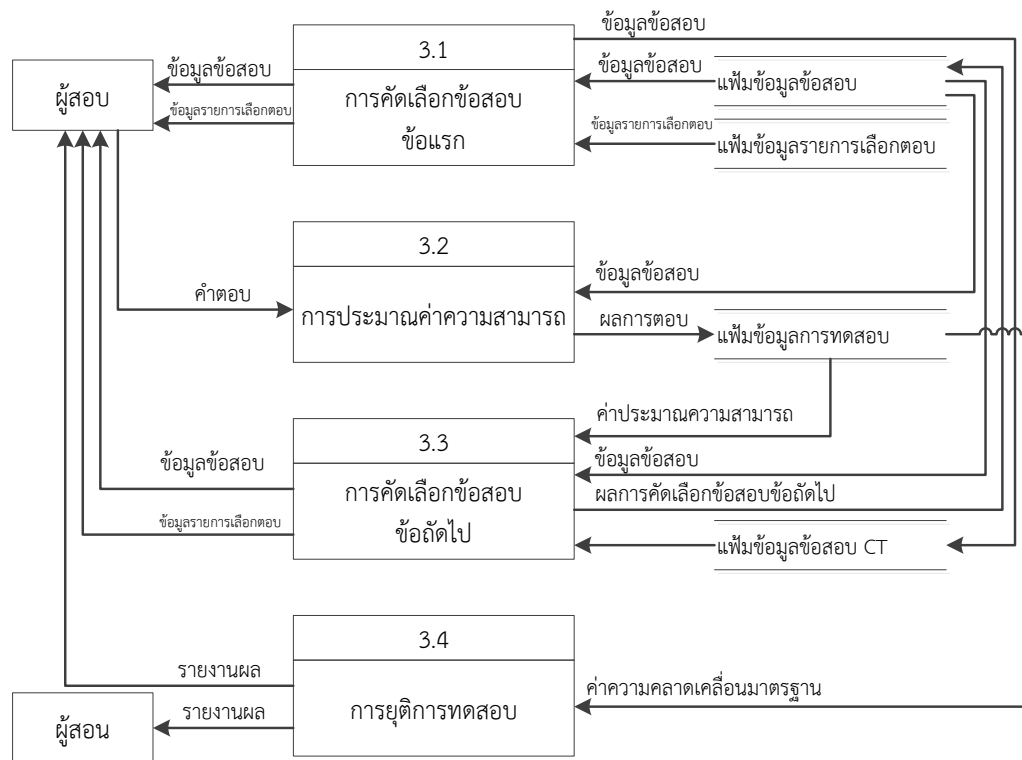
กระบวนการแก้ไขข้อสอบ เป็นการแก้ไขข้อสอบเดิมที่มีอยู่ในคลังข้อสอบ โดยข้อสอบที่ได้รับการแก้ไขแล้ว ต้องเป็นข้อสอบแบบ 4 ตัวเลือก มีค่าความยากของข้อสอบ ตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 มีค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ ตั้งแต่ 0.50 ถึง 2.50 และมีค่าการเดาของข้อสอบ ไม่เกิน 0.30



กระบวนการลบข้อสอบ เป็นการลบข้อสอบที่ไม่ต้องการออกจากคลังข้อสอบ

1.3.2 กระบวนการจัดการทดสอบ

กระบวนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มี 4 กระบวนการย่อย คือ 1) การคัดเลือกข้อสอบข้อเริ่มต้น 2) การประมาณค่าความสามารถ 3) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป และ การยุติการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับ 1 (Data Flow Diagram Level 1) ของกระบวนการจัดการทดสอบ

จากภาพที่ 3-16 แสดงการรับส่งข้อมูลในกระบวนการจัดการทดสอบด้วยโปรแกรมซึ่งมีกระบวนการย่อย 4 กระบวนการ โดยแต่ละกระบวนการมี 2 แบบ ขึ้นอยู่กับการทดสอบนั้นว่าเป็นการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Adaptive Testing: CAT-ACS) หรือเป็นการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Testing: CT) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ การคัดเลือกข้อสอบข้อแรก เป็นการจัดข้อสอบข้อแรกให้แก่ผู้สอบ มี 2 วิธี ขึ้นอยู่กับการทดสอบ ได้แก่

- ก. การทดสอบแบบ CAT-ACS ข้อสอบข้อแรก จะดำเนินการโดยวิธีระบบอาณานิคมมดที่ใช้กลุ่มความยากข้อสอบระดับปานกลาง
- ข. การทดสอบแบบ CT ข้อสอบข้อแรก จะจัดข้อสอบที่กำหนดไว้แล้วให้แก่ผู้สอบ ซึ่งผู้สอบทุกคนจะได้รับข้อสอบข้อแรกข้อเดียวกัน

การประมาณค่าความสามารถ เป็นการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS โดยใช้วิธีของเบส์แบบปรับใหม่ ซึ่งการประมาณค่าจะอาศัยผลการตอบข้อสอบในข้อที่ผ่านมา ในส่วนของการทดสอบแบบ CT จะไม่มีกระบวนการนี้

การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป เป็นการจัดข้อสอบข้อถัดไปให้แก่ผู้สอบ มี 2 วิธีการขึ้นอยู่กับ การทดสอบ ได้แก่

ก. การทดสอบแบบ CAT-ACS ข้อสอบข้อถัดไป จะเป็นข้อสอบที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม

ข. การทดสอบแบบ CT ข้อสอบข้อถัดไป จะเป็นข้อสอบที่กำหนดไว้แล้ว โดยข้อสอบที่จัดให้ผู้สอบจะมีค่าความยากของข้อสอบคละกัน และผู้สอบทุกคนจะได้รับข้อสอบข้อถัดไปข้อเดียวกัน

การยุติการทดสอบ เป็นกระบวนการที่ทำให้การทดสอบยุติลง มี 2 วิธี ขึ้นอยู่กับ การทดสอบ ได้แก่

ก. การทดสอบแบบ CAT-ACS เกณฑ์ยุติการทดสอบ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน การออกแบบ

ข. การทดสอบแบบ CT เกณฑ์ยุติการทดสอบ ใช้เกณฑ์เมื่อผู้สอบทำข้อสอบครบ 40 ข้อ

## 2. การออกแบบฐานข้อมูลโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

การออกแบบฐานข้อมูลของโปรแกรมการทดสอบในการวิจัยนี้ มี 6 แฟ้มข้อมูล ได้แก่ 1) แฟ้มข้อมูลข้อสอบ 2) แฟ้มข้อมูลผู้สอบ 3) แฟ้มข้อมูลการทำข้อสอบ 4) แฟ้มข้อมูลคณะวิชา 5) แฟ้มข้อมูลสาขาวิชา และ 6) แฟ้มข้อมูลข้อสอบ CT โดยแต่ละแฟ้มข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1 แฟ้มข้อมูลข้อสอบ มีทั้งหมด 7 Fields ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แฟ้มข้อมูลข้อสอบ (Examination)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	ExamID	Int	-	ข้อสอบข้อที่	1
	ExamSection	Varchar	100	เนื้อหาของข้อสอบ	Reading, Listening, Grammar
	Question	Varchar	Max	โจทย์	2+3=?
	A_Parameter	Varchar	7	ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ	0.57
	B_Parameter	Varchar	7	ค่าความยากของข้อสอบ	-1.62
	C_Parameter	Varchar	6	ค่าการเดาของข้อสอบ	0.12
	CorrectAnswer	Varchar	1	คำตอบที่ถูกต้อง	2

## 2.2 เพิ่มข้อมูลรายการคำตอบ มีทั้งหมด 3 Fields ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 เพิ่มข้อมูลรายการคำตอบ (Examination Choice)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	ExamID	Int	-	ข้อสอบข้อที่	1
Pk	ChoiceID	Int	-	รายการคำตอบที่	1
	Choice	Varchar	Max	รายการคำตอบ	red

## 2.3 เพิ่มข้อมูลผู้สอบ มีทั้งหมด 10 Fields ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 เพิ่มข้อมูลผู้สอบ (StudentInfo)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	M_Runno	Int	-	Running Number	1
	StudentID	Varchar	50	รหัสนักศึกษา	58000001
FK	FacultyID	Int	-	รหัสคณะวิชา	12
FK	MajorID	Int	-	รหัสสาขาวิชา	761
	StudentName	Varchar	500	ชื่อ-นามสกุลนักศึกษา	รัชกฤษ ธนพัฒน์ดล
	StartDateTime	Varchar	50	วัน-เวลา เริ่มการสอบ	14-06-2017 13:07:35
	EndDateTime	Varchar	50	วัน-เวลา สิ้นสุดการสอบ	14-06-2017 14:12:35
	Correct	Int	-	จำนวนข้อถูก	5
	InCorrect	Int	-	จำนวนข้อผิด	2
	AbilityValue	Numeric	(18,5)	ค่าประมาณความสามารถ	1.57

## 2.4 เพิ่มข้อมูลการทำข้อสอบ มีทั้งหมด 6 Fields ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 เพิ่มข้อมูลการทำข้อสอบ (Test)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	T_Runno	Int	-	Running Number	1
FK	M_Runno	Int	-	Running Number ของ เพิ่มข้อมูลผู้สอบ	1
	ExamSection	Varchar	100	เนื้อหาของข้อสอบ	Reading, Listening, Grammar
	ExamID	Int	-	ข้อสอบข้อที่	1
	UserAnswer	Varchar	1	คำตอบที่ผู้สอบเลือก	2
	IsCorrect	Bit	-	ผลการตอบข้อสอบ	1=True, 0=False

## 2.5 เพิ่มข้อมูลสาขาวิชา มีทั้งหมด 3 Fields ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 เพิ่มข้อมูลสาขาวิชา (Major)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	MajorID	Int	-	รหัสสาขาวิชา	1
FK	FacultyID	Int	-	รหัสคณะวิชา	1
	MajorName	Varchar	500	ชื่อสาขาวิชา	การบิน

## 2.6 เพิ่มข้อมูลคณะวิชา มีทั้งหมด 2 Fields ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 เพิ่มข้อมูลคณะวิชา (Faculty)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	FacultyID	Int	-	รหัสคณะวิชา	1
	FacultyName	Varchar	500	ชื่อคณะวิชา	การบิน

## 2.7 เพิ่มข้อมูลข้อสอบ CT มีทั้งหมด 2 Fields ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 เพิ่มข้อมูลข้อสอบการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (CTExam)

Key	Field Name	Field Type	Size	Note	Sample
PK	O_Runno	int	-	Running Number	1
	ExamID	Int	-	ข้อสอบข้อที่	1

### 3. การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาในรูปแบบของ Web Application โดยใช้ภาษา PHP ในการพัฒนาโปรแกรมใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูล และใช้ภาษา SQL เป็นคำสั่งในการเชื่อมโยงข้อมูลในฐานข้อมูลซึ่งมีโครงสร้างหน้าจอของโปรแกรม ดังนี้

3.1 โครงสร้างหน้าจอทั่วไปของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-17

HEADER
MENU
DETAIL
FOOTER

ภาพที่ 3-17 โครงสร้างหน้าจอทั่วไปของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-17 แสดงโครงสร้างหน้าจอทั้งโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งหน้าจอที่ใช้เป็นส่วนใหญ่ของโปรแกรม

3.2 โครงสร้างหน้าจอทั่วไปภายในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-18

HEADER	
MENU	
รายละเอียดของการทดสอบ และเงื่อนไขการทดสอบ	รหัสผู้เข้าสอบ และรหัสผ่าน
FOOTER	

ภาพที่ 3-18 โครงสร้างหน้าจอทั่วไปภายในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-18 แสดงโครงสร้างหน้าจอทั่วไปภายในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้เข้าสอบจะต้องยอมรับในเงื่อนไขการทดสอบโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งระบุรหัสผู้สอบ และรหัสผ่านให้ถูกต้อง

3.3 โครงสร้างในหน้าจอรายละเอียดภายในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-19

HEADER	
รายละเอียดผู้เข้าสอบ	
เงื่อนไขในการทดสอบ	
FOOTER	

ภาพที่ 3-19 โครงสร้างหน้าจอรายละเอียดภาพในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-19 แสดงโครงสร้างหน้ารายละเอียดภายในส่วนการจัดการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

3.4 โครงสร้างหน้าจอในส่วนการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-20

HEADER
DETAIL ITEMS
FOOTER

ภาพที่ 3-20 โครงสร้างหน้าจอในส่วนการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-20 แสดงโครงสร้างหน้าจอที่แสดงเนื้อหาของข้อสอบ ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้เข้าสอบต้องทำข้อสอบจนค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.30

3.5 โครงสร้างหน้าจอทั่วไปในส่วนของการตรวจสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-21

HEADER	
MENU	
รายละเอียดของผลการทดสอบ	
FOOTER	

ภาพที่ 3-21 โครงสร้างจอทั่วไปในส่วนของการตรวจสอบผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-21 แสดงโครงสร้างหน้าจอทั่วไปในส่วนของการตรวจสอบผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

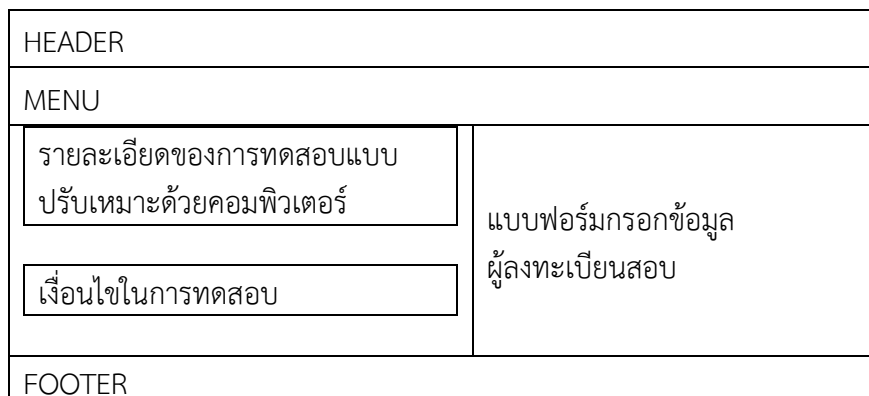
3.6 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการตรวจสอบผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-22

HEADER	
MENU	
รหัสผู้เข้าสอบที่ต้องการตรวจสอบ	
FOOTER	

ภาพที่ 3-22 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการตรวจสอบผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-22 แสดงโครงสร้างหน้าจอในส่วนของการตรวจสอบผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้เข้าสอบต้องใส่รหัสผู้เข้าสอบที่ถูกต้องเพื่อตรวจสอบผลการทดสอบของตนเอง

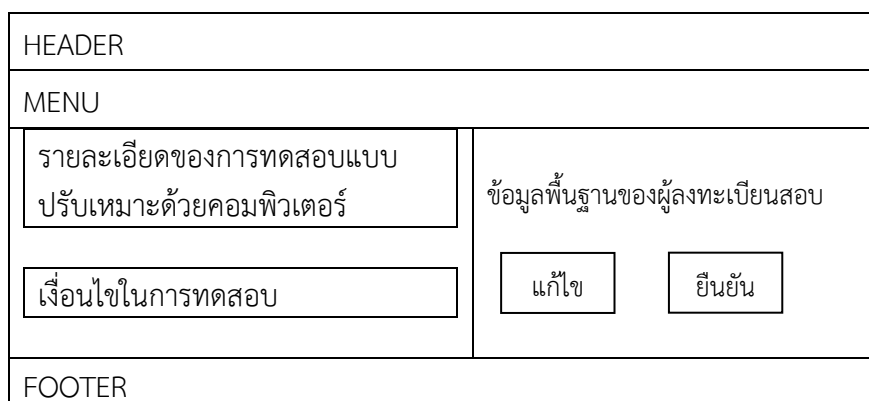
3.7 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการลงทะเบียนสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการลงทะเบียนสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับ  
เหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-23 แสดงโครงสร้างหน้าจอในส่วนของการลงทะเบียนสอบของโปรแกรมการ  
ทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้เข้าสอบจะต้องลงทะเบียนสอบ โดยกรอกข้อมูลพื้นฐาน  
ตามแบบฟอร์มที่กำหนดให้อย่างครบถ้วน แล้วเลือกยอมรับเงื่อนไขในการทดสอบ

3.8 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการยืนยันข้อมูลพื้นฐานของผู้ลงทะเบียนสอบใน  
โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-24 โครงสร้างหน้าจอในส่วนของการยืนยันข้อมูลพื้นฐานของผู้ลงทะเบียนสอบของ  
โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-24 แสดงโครงสร้างหน้าจอในส่วนของการยืนยันข้อมูลพื้นฐานของผู้ลงทะเบียน  
สอบในโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ลงทะเบียนต้องตรวจสอบ  
ข้อมูลพื้นฐานของตนเองให้ถูกต้องก่อนที่จะกดปุ่มยืนยันการลงทะเบียนสอบ



3.9 โครงสร้างหน้าจอส่วนบริหารการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับ  
 เหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-25

HEADER	
MENU	
รหัสผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน	รายละเอียดของการทดสอบ
FOOTER	

ภาพที่ 3-25 โครงสร้างหน้าจอส่วนบริหารการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับ  
 เหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-25 แสดงโครงสร้างหน้าจอส่วนบริหารการทดสอบของโปรแกรมการ  
 ทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้เข้าสอบจะต้องยอมรับในเงื่อนไขบริหารการทดสอบ  
 โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งระบุรหัสผู้ใช้งาน และรหัสผ่านให้  
 ถูกต้อง

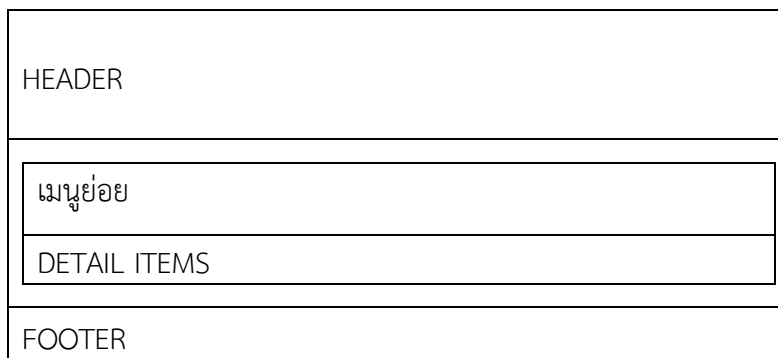
3.10 โครงสร้างในหน้าจอรายละเอียดภายในส่วนบริหารการทดสอบของโปรแกรมการ  
 ทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-26

HEADER	
รายละเอียดของการบริหารการทดสอบ	
FOOTER	

ภาพที่ 3-26 โครงสร้างหน้าจอรายละเอียดภายในส่วนบริหารการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบ  
 แบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-26 แสดงโครงสร้างรายละเอียดภายในส่วนบริหารการทดสอบของ  
 โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

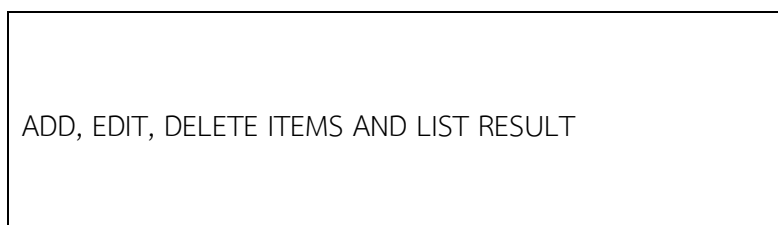
3.11 โครงสร้างหน้าจอในส่วนรายละเอียดการบริหารการทดสอบของโปรแกรมการ  
 ทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-27



ภาพที่ 3-27 โครงสร้างหน้าจอในส่วนรายละเอียดการบริหารการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-27 แสดงโครงสร้างหน้าจอในส่วนรายละเอียดการบริหารการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยแสดงเนื้อหาของข้อสอบที่มีอยู่ในคลังข้อสอบทั้งหมดของระดับชั้นที่ผู้ใช้งานกำหนด

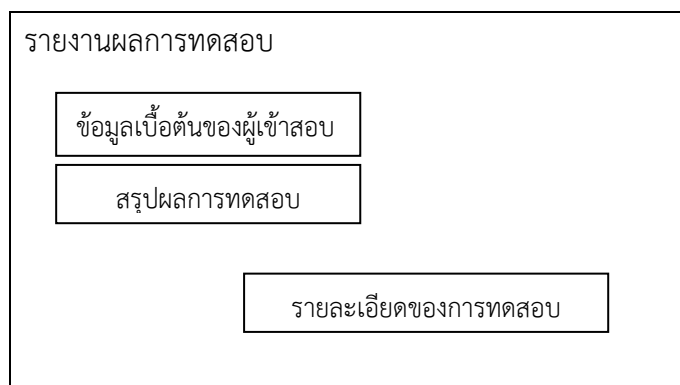
3.12 โครงสร้างในหน้าจอรายละเอียดในส่วนการจัดการข้อสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-28



ภาพที่ 3-28 โครงสร้างหน้าจอในส่วนรายละเอียดการจัดการข้อสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-28 แสดงโครงสร้างหน้าจอในส่วนการจัดการข้อสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเพิ่ม แก้ไข หรือลบข้อสอบ โดยข้อสอบที่จะนำมาเพิ่ม หรือแก้ไขนั้น ต้องมีค่าความยากของข้อสอบ (b) ตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) ตั้งแต่ 0.50 ถึง 2.50 และค่าการเดาของข้อสอบ (c) ไม่เกิน 0.30

3.13 โครงสร้างหน้าจอการรายงานผลสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงตามภาพที่ 3-29



ภาพที่ 3-29 โครงสร้างหน้าจอรายงานผลการทดสอบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับ  
 เหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-29 แสดงโครงสร้างการรายงานผลการทดสอบ ซึ่งเป็นส่วนที่แสดง  
 รายละเอียดของการทดสอบของผู้สอบแต่ละคนแสดงเป็น Acrobat File (PDF File)

#### 4. การทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

หลังจากพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัย  
 ตรวจสอบโปรแกรมด้วยตนเอง เพื่อหาจุดบกพร่องเบื้องต้นก่อน โดยแบ่งการตรวจสอบเป็น 4 ด้าน  
 ดังนี้

- 4.1 ด้านเนื้อหาที่เป็นข้อมูล ความรู้ต่าง ๆ ในตัวโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะ  
 ด้วยคอมพิวเตอร์
- 4.2 ด้านความถูกต้องของข้อสอบ และความถูกต้องของระบบ
- 4.3 ด้านการวิเคราะห์ผลต่าง ๆ
- 4.4 ด้านรูปแบบของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์หลังจาก  
 นั้นจึงนำโปรแกรมดังกล่าวไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของโปรแกรมอีก  
 ครั้ง

#### 5. การจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

เมื่อทดสอบและปรับปรุงจุดบกพร่องของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วย  
 คอมพิวเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมเพื่อประกอบการใช้งาน และเป็นแนว  
 ปฏิบัติในการทดสอบสำหรับผู้เข้าสอบ

#### 6. การประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

หลังจากทดสอบ แก้ไขและจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วย  
 คอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยนำโปรแกรมและคู่มือการใช้งานไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความ  
 เหมาะสมของโปรแกรม โดยผู้เชี่ยวชาญมีวุฒิการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาโท มีความรู้ทางด้าน  
 วัตผลการศึกษา หรือด้านการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีประสบการณ์ทางการวัตผลการศึกษา  
 ด้านการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 3 คน ได้แก่ อาจารย์ ดร. ดวงเพ็ญ  
 เจตนพิพัฒน์พงษ์ อาจารย์อารีญา ศรีประเสริฐ และอาจารย์ธีรวัช สุขวิสัยศิริณู

ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ทั้งหมด 5 ด้าน คือ 1) ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม 2) การทำงานของโปรแกรม 3) การใช้งานของโปรแกรม 4) ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรม และ 5) ความชัดเจนของกลุ่มผู้ใช้โปรแกรม ด้วยแบบประเมินที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นซึ่งมีลักษณะเป็นมาตราประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

- 5 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมมากที่สุด
- 4 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมมาก
- 3 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมปานกลาง
- 2 หมายถึง โปรแกรมความเหมาะสมน้อย
- 1 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมน้อยที่สุด

เกณฑ์การแปลความหมาย ดังนี้

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 4.51 ถึง 5.00 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.51 ถึง 4.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับมาก

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.51 ถึง 3.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.51 ถึง 2.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00 ถึง 1.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

#### 7. การประเมินความคิดเห็นของผู้ทดลองใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี

การประเมินความคิดเห็นของผู้ทดลองใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ในการวิจัยนี้เป็นการประเมินผลความคิดเห็นของนักศึกษา ที่ทดลองใช้โปรแกรมในด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม และด้านความสะดวกในการนำไปใช้ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ จำนวน 30 คน ใช้วิธีคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามสะดวก โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 7.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะการบิน ชั้นปีที่ 3 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย จำนวน 30 คน

##### 7.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบของการให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวดำเนินการทดสอบด้วยโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบจะให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญแล้วซึ่งเป็นมาตราประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

### 7.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์คะแนนความคิดเห็นของนักเรียนที่ทดลองใช้โปรแกรมด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยมีเกณฑ์การประเมินความคิดเห็นดังนี้

เกณฑ์การประเมินความคิดเห็น

5 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมมากที่สุด

4 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมมาก

3 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมปานกลาง

2 หมายถึง โปรแกรมความเหมาะสมน้อย

1 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมน้อยที่สุด

เกณฑ์การแปลความหมาย ดังนี้

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 4.51 ถึง 5.00 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.51 ถึง 4.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับมาก

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.51 ถึง 3.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับปานกลาง

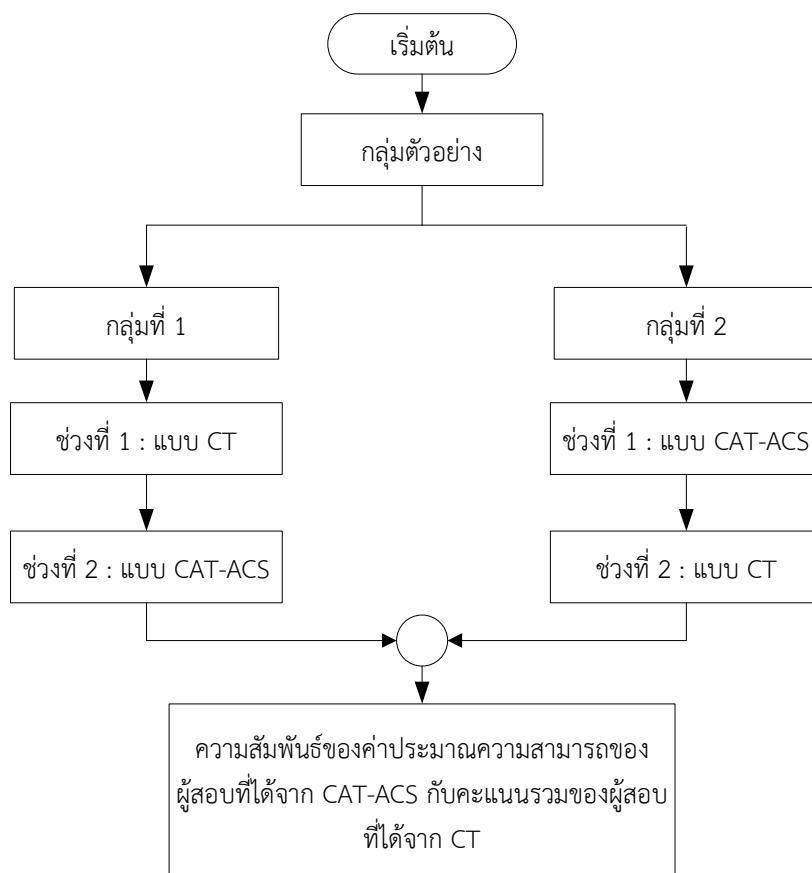
ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.51 ถึง 2.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00 ถึง 1.50 หมายถึง โปรแกรมมีความเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

สำหรับข้อเสนอแนะของนักเรียนที่ทดลองใช้โปรแกรม ผู้วิจัยจะได้นำมาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

### ระยะที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมตกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (CAT-ACS) กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (CT) ของการวิจัยนี้ จะดำเนินการตามงานวิจัยของ Liley, Barker, and Britton (2004) ที่ได้ศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยสามารถแสดงแผนการดำเนินการได้ตามภาพที่ 3-30



ภาพที่ 3-30 ขั้นตอนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3-30 แสดงขั้นตอนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบ CAT-ACS กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบ CT ซึ่งผลการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มีการวัดผลที่สอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์หรือไม่ ด้วยเหตุนี้ นักศึกษาแต่ละคนในกลุ่มตัวอย่าง จึงต้องทดสอบทั้ง 2 แบบ โดยใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในระยะที่ 3 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในระยะนี้มีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ดำเนินการทดสอบแบบ CT ก่อน แล้วจึงทดสอบแบบ CAT-ACS ส่วนในกลุ่มที่ 2 ดำเนินการทดสอบแบบ CAT-ACS ก่อน แล้วจึงทำการทดสอบแบบ CT ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องลำดับของการทดสอบ (Order Effect) ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดสอบได้ หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้รับจากการทดสอบทั้ง 2 แบบ มาทดสอบความสัมพันธ์ โดยวิธีดำเนินการวิจัยในระยะนี้ มีรายละเอียดดังนี้

### 1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย คัดเลือกตัวอย่างแบบตามสะดวกจำนวน 30 คน

### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปด้วยวิธีอำนาจนิคมตสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ซึ่งเป็นโปรแกรมในรูปแบบ Web Application โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกการทดสอบได้ 2 ประเภท คือ การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ และการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยนี้ แบ่งการดำเนินการได้ 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การเตรียมเอกสารที่เกี่ยวข้องในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดเตรียมเอกสารต่าง ๆ เพื่อขอหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย เช่น คำโครงการวิจัยฉบับย่อ เครื่องมือ หรือแบบรายงานการผ่านจริยธรรมการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ขอหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย จากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ถึงผู้บริหารมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

ขั้นตอนที่ 3 จัดส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย ถึงผู้บริหารมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

ส่วนที่ 2 การดำเนินการทดสอบ โดยใช้โปรแกรมการทดสอบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในระยะที่ 3 เพื่อใช้ทดสอบ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมคลังข้อสอบ ในการทดสอบนี้ใช้คลังข้อสอบที่เป็นข้อสอบในรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ โดยคลังข้อสอบทั้งหมดได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ประจำหลักสูตรภาษาอังกฤษ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ซึ่งข้อสอบแต่ละข้อ แบ่งได้ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เนื้อหาของข้อสอบ ประกอบด้วย โจทย์รายการคำตอบแบบ 4 ตัวเลือก พร้อมเฉลยตัวเลือกที่ถูกต้อง มีทั้งหมด 421 ข้อ แบ่งเนื้อหาของการทดสอบได้ 4 ส่วน ได้แก่ 1) ชนิดของคำ (Part of Speech) จำนวน 118 ข้อ 2) การใช้บริบทบ่งชี้เพื่อค้นหาความหมายของคำศัพท์ยาก (Using Context Clue) จำนวน 104 ข้อ 3) การเรียนรู้ความหมายคำศัพท์จากโครงสร้างของคำศัพท์ (Word Formations) จำนวน 107 ข้อ และ 4) การสรุปความ (Making Inferences) จำนวน 92 ข้อ และ ส่วนที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ ข้อสอบทุกข้อในคลังข้อสอบเป็นข้อสอบที่ผ่านการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ค่า ได้แก่ ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 2.50 ค่าความยากของข้อสอบ มีค่าตั้งแต่ -2.50 ถึง 2.50 และค่าการเดาของข้อสอบ มีค่าไม่เกิน 0.30 ซึ่งข้อสอบทั้งหมดในคลังข้อสอบจะถูกนำไปใช้ในโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในระยะที่ 3

ขั้นตอนที่ 2 การดำเนินการทดสอบโดยใช้โปรแกรมการทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น (จาก  
ระยะที่ 3) เพื่อใช้ทดสอบความรู้ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี มี  
ขั้นตอนย่อยในการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 2.1 แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน

ขั้นตอนที่ 2.2 ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทดสอบและวิธีการใช้โปรแกรมอย่างละเอียด  
เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเห็นความสำคัญของการทดสอบ และทำการทดสอบด้วยความตั้งใจ

ขั้นตอนที่ 2.3 ดำเนินการทดสอบ โดยใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วย  
คอมพิวเตอร์ ทดสอบความรู้ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี โดยกลุ่ม  
ตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ต้องดำเนินการทดสอบทั้ง 2 แบบ คือ การทดสอบแบบ CT และการทดสอบ  
CAT-ACS ซึ่งกลุ่มที่ 1 ดำเนินการทดสอบแบบ CT ก่อน แล้วจึงดำเนินการทดสอบแบบ CAT-ACS  
ส่วนกลุ่มที่ 2 ดำเนินการทดสอบแบบ CAT-ACS ก่อน แล้วจึงดำเนินการทดสอบแบบ CT แสดงได้ดัง  
ตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 ลำดับการทดสอบ

	สอบช่วงที่ 1	พัก	สอบช่วงที่ 2
	9.00 น. - 11.00 น.		13.00 น. - 15.00 น.
กลุ่มที่ 1	แบบ CT	2 ชั่วโมง	แบบ CAT-ACS
กลุ่มที่ 2	แบบ CAT-ACS		แบบ CT

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัย จะดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณ  
ความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับคะแนนรวมของ  
ผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้สถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ความถี่ (Frequency) ค่าสูงสุด  
(Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ทั้งนี้  
ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบและคะแนนรวมของผู้สอบเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง จึงใช้การ  
วิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation)



## บทที่ 4 ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมดสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปกับ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์สารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ ซึ่งพิจารณาตาม 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ 2) ความยาวของแบบทดสอบ และ 3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จากนั้นดำเนินการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด สำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอผลการวิจัยเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไป

ตอนที่ 3 ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด

ตอนที่ 4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมดกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

เพื่อความเข้าใจตรงกัน ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

$n$  หมายถึง ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

$Mean$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$SD$  หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$Median$  หมายถึง ค่ามัธยฐาน

$Max$  หมายถึง ค่าสูงสุด

$Min$  หมายถึง ค่าต่ำสุด

$\theta$  หมายถึง ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ

$\hat{\theta}$  หมายถึง ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ

$a$  หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ

$b$  หมายถึง ค่าความยากของข้อสอบ

$c$  หมายถึง ค่าการเดาของข้อสอบ

$\chi^2$  หมายถึง ค่าไคสแควร์

$df1$  หมายถึง ค่าองศาอิสระ ค่าที่ 1

<i>df</i> <sub>2</sub>	หมายถึง	ค่าองศาอิสระ ค่าที่ 2
<i>p-value</i>	หมายถึง	ระดับนัยสำคัญ $\alpha$ ที่จะปฏิเสธ $H_0$
<i>RMSE</i>	หมายถึง	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
Average Bias	หมายถึง	ค่าความลำเอียงเฉลี่ย
MIC	หมายถึง	วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศ สูงสุด
HC-Ex	หมายถึง	วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของ เฮอร์วิคซ์และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ
ACS	หมายถึง	วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบ อาณานิคม
CAT-ACS	หมายถึง	การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบ อาณานิคม
CT	หมายถึง	การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

### ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม

การพัฒนาวิธีคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมตามขั้นตอนการดำเนินงานที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้แบ่งผลการพัฒนาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ และค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ และค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ถูกจำลองขึ้นด้วยโปรแกรม WinGen3 ผลการดำเนินการแสดงดังภาพที่ 4-1

The screenshot shows the WinGen3 software interface with the following sections:

- Examinee Characteristics:**
  - Number of Examinees: 1000
  - Distribution (only for unidimensional models): Normal (selected), Uniform, Beta
  - Mean: 0, SD: 1
  - Buttons: Multidimensional, Setting, Regenerate for each replication, Generate True Scores (Theta)
- Item Characteristics:**
  - Number of Items: 500
  - Number of Response Categories: 2
  - Model: 3PLM
  - Distribution: Par.a (Uniform, Min 0.50, Max 2.50), Par.b (Uniform, Min -2.50, Max 2.50), Par.c (Uniform, Min 0, Max 0.30)
  - Buttons: Scale to normal metric (scaling factor D=1.702), Add to the previous item set, Generate True Item Parameters
- Examinee (θ) Table:**

ID	θ
1	0.826
2	-1.973
3	-0.594
4	0.003
5	-0.586
6	0.728
7	-0.487
8	0.655
9	0.734
10	1.882
11	-0.822
12	-2.508
13	-0.165
- Item Parameters (a,b,c) Table:**

ID	a	b	c
1	1.681	1.088	0.249
2	0.736	-0.819	0.050
3	1.848	0.837	0.141
4	1.795	1.228	0.136
5	0.775	-1.626	0.011
6	1.240	-0.720	0.099
7	1.724	-0.438	0.068
8	1.082	-1.515	0.300
9	1.429	0.473	0.208
10	0.877	-1.863	0.104
11	2.206	0.731	0.176
12	2.446	-2.024	0.300
13	1.684	-1.873	0.156
14	1.950	1.305	0.127
15	1.739	0.901	0.041
16	0.633	0.706	0.042
17	0.678	0.366	0.278
18	2.033	-1.617	0.146
19	1.253	-2.234	0.291
20	1.993	-0.590	0.184
21	1.550	0.523	0.214
22	2.261	2.472	0.169
23	2.324	-0.702	0.006
24	1.013	-1.312	0.190
- Summary Statistics:**
  - N = 1000
  - Mean = 0.037, SD = 0.980
  - a: Mean=1.503 / SD=0.567
  - b: Mean=-0.101 / SD=1.471
  - c: Mean=0.147 / SD=0.087
- Buttons:** Examinee Graphs, Item Graphs, Output File, Browse, Generate Replication Data Sets, Number of Replications, Generate Response Data Set(s)

ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองคลังข้อสอบ และค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ

จากภาพที่ 4-1 ผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1 คลังข้อสอบจำลอง ถูกจำลองขึ้นจากการสุ่มตัวเลขที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม ด้วยโปรแกรม WinGen3 เพื่อจำลองค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ จำนวน 500 ข้อ แต่ละข้อ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ค่า (3PLM) ได้แก่ 1) อำนาจจำแนกของข้อสอบ 2) ค่าความยากของข้อสอบ และ 3) ค่าการเดาของข้อสอบ สามารถแสดงผลการจำลองดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าสถิติพื้นฐานของค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในคลังข้อสอบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ	<i>n</i> (ข้อ)	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a)	500	0.502	2.497	1.479	0.575
ค่าความยากของข้อสอบ (b)	500	-2.477	2.499	-0.101	1.455
ค่าการเดาของข้อสอบ (c)	500	0.001	0.300	0.149	0.086

จากตารางที่ 4-1 แสดงค่าสถิติพื้นฐานของค่าพารามิเตอร์ข้อสอบในคลังข้อสอบจำลอง ที่จำลองขึ้นจากโปรแกรม WinGen3 จำนวน 500 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วยค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (a) ค่าความยากของข้อสอบ (b) และค่าการเดาของข้อสอบ (c) มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดในการจำลองค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ คือ ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบมีค่าอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 2.50 ค่าความยากของข้อสอบมีค่าอยู่ในช่วง -2.50 ถึง 2.50 และค่าการเดาของข้อสอบมีค่าไม่เกิน 0.30

1.2 ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ถูกจำลองขึ้นโดยกำหนดให้โปรแกรมสุ่มข้อมูลจากเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ  $N(0,1)$  จำนวน 10,000 ค่า แบ่งเป็นชุด ๆ ละ 1,000 ค่า ได้ทั้งหมด 10 ชุด ผลการจำลองแสดงดังตารางที่ 4-2

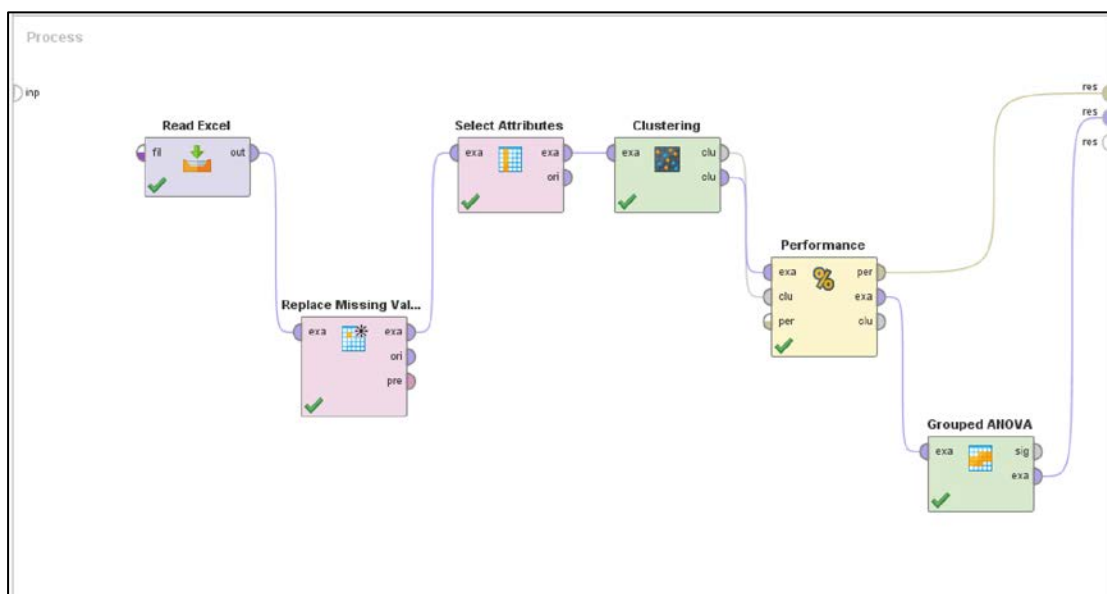
ตารางที่ 4-2 ค่าสถิติพื้นฐานของค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ

ค่าความสามารถที่แท้จริง ( $\theta$ )	<i>n</i> (คน)	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Skewness</i>	<i>Kurtosis</i>
ชุดที่ 1	1,000	-3.224	4.255	.007	1.004	.047	.294
ชุดที่ 2	1,000	-3.200	3.308	.035	1.044	-.013	-.069
ชุดที่ 3	1,000	-3.301	3.463	.031	1.023	-.045	-.005
ชุดที่ 4	1,000	-3.386	3.065	.010	1.003	-.059	.255
ชุดที่ 5	1,000	-2.784	3.080	.004	0.938	-.047	-.133
ชุดที่ 6	1,000	-2.841	3.247	.034	1.000	-.075	-.115
ชุดที่ 7	1,000	-3.598	3.418	-.002	1.004	.019	.237
ชุดที่ 8	1,000	-3.249	3.098	.013	1.016	.080	-.004
ชุดที่ 9	1,000	-3.222	3.509	.004	1.019	.008	-.061
ชุดที่ 10	1,000	-3.530	3.617	.037	1.035	.106	.024

จากตารางที่ 4-2 แสดงค่าสถิติพื้นฐานของค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) ซึ่งถูกจำลองขึ้นด้วยโปรแกรม WinGen3 จำนวน 10,000 ค่า แบ่งเป็นชุด ชุดละ 1,000 ค่า ปรากฏว่าค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่จำลองขึ้นทั้ง 10 ชุด มีลักษณะเป็นโค้งระฆังคว่ำ (การแจกแจงแบบปกติ) มีค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ 0 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเข้าใกล้ 1 ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) เข้าใกล้ 0

## 2. ผลการจัดกลุ่มข้อสอบตามค่าความยากของข้อสอบ

การจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบที่จำลองขึ้น จำนวน 500 ข้อดังกล่าว จะแบ่งตามค่าความยากของข้อสอบเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) (Karahora & Ince, 2009) ซึ่งในการจัดกลุ่มข้อสอบผู้วิจัยได้นำเทคนิคทางด้านเหมืองข้อมูล (Data Mining Techniques) คือเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means Clustering โดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio 8 เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคของดาต้าไมน์นิ่งประเภทต่าง ๆ ผลการดำเนินการแสดงดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 การเชื่อมโยงฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means

จากภาพที่ 4-2 การเชื่อมโยงข้อมูลค่าพารามิเตอร์ความยากของข้อสอบในไฟล์ Excel จำนวน 500 ค่า ไปยังฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means Clustering ของโปรแกรม RapidMiner Studio 8 ได้แก่ Replace Missing Values, Select Attributes, Clustering (k-means), Performance (Cluster Distance Performance) และ Grouped ANOVA ตามลำดับ ซึ่งผลการจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าสถิติพื้นฐานของการจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบจำลอง

ระดับความยากของ ข้อสอบ	จำนวนข้อสอบ (ข้อ)	Min	Max	Mean	SD
ง่ายมาก (Very Easy)	100	-2.477	-1.560	-2.064	0.280
ง่าย (Easy)	123	-1.537	-0.522	-1.024	0.320
ปานกลาง (Medium)	90	-0.493	0.453	0.009	0.284
ยาก (Hard)	87	0.516	1.470	0.991	0.261
ยากมาก (Very Hard)	100	1.477	2.499	1.950	0.287

จากตารางที่ 4-3 แสดงค่าสถิติพื้นฐานของการจัดกลุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบจำลอง ด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio 8 พบว่า ข้อสอบที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีค่าความยากอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันและข้อสอบที่ถูกจัดอยู่ต่างกลุ่มกันจะมีค่าความยากแตกต่างกันในลักษณะเป็นลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means Clustering

### 3. ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอนุมานนิคมมด

การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอนุมานนิคมมดตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB และรันโปรแกรมทดลอง ตามเงื่อนไขที่กำหนด การทดลองดังกล่าวได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีอนุมานนิคมมด ได้แก่ จำนวนประชากรมด และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ, เพื่อหาโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปของวิธี ACS แล้วนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบวิธี MIC และวิธี HC-Ex ที่กำหนดไว้ต่อไป

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอนุมานนิคมมดที่พัฒนาโปรแกรมขึ้นดังกล่าว จะทำการศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล ซึ่งใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่จำลองขึ้นแตกต่างกันจำนวน 10 ชุด แต่ละชุดมีค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบจำนวน 1,000 ค่า รวมข้อมูลที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 10,000 ค่า โดยการทดลองจะถูกทำซ้ำจำนวน 10 รอบ (รอบที่ 1 ถึง รอบที่ 10) ในแต่ละรอบจะใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบทีละชุด (1,000 ค่า) และทุกรอบของการทดลองจะใช้คลังข้อสอบจำลองชุดเดียวกันขนาด 500 ข้อ ที่ผ่านการจัดกลุ่มตามระดับค่าความยากไว้แล้ว ซึ่งผลการศึกษาในแต่ละรอบจะได้ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ 1,000 ค่า จากนั้นนำมาคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) ความยาวของแบบทดสอบ และจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ผลค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

จำนวน ประชากรมด (ตัว)	จำนวนรอบ การค้นหา คำตอบของ วิธี ACS (รอบ)	RMSE ของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ จากการทดสอบโปรแกรมแต่ละรอบ (รอบที่ 1 –รอบที่ 10)										Mean	SD
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	รอบที่ 6	รอบที่ 7	รอบที่ 8	รอบที่ 9	รอบที่ 10		
		( $n_1=1000$ )	( $n_2=1000$ )	( $n_3=1000$ )	( $n_4=1000$ )	( $n_5=1000$ )	( $n_6=1000$ )	( $n_7=1000$ )	( $n_8=1000$ )	( $n_9=1000$ )	( $n_{10}=1000$ )		
10	50	0.239	0.225	0.319	0.234	0.394	0.298	0.227	0.275	0.267	0.232	0.271	0.054
	100	0.137	0.227	0.198	0.230	0.158	0.180	0.114	0.174	0.209	0.259	0.189	0.045
	200	0.185	0.175	0.166	0.128	0.126	0.129	0.162	0.125	0.157	0.182	0.154	0.024
20	50	0.165	0.100	0.185	0.189	0.168	0.161	0.176	0.142	0.173	0.184	0.164	0.026
	100	0.028	0.062	0.024	0.039	0.137	0.179	0.125	0.144	0.121	0.123	0.098	0.055
	200	0.025	0.129	0.021	0.035	0.014	0.016	0.152	0.131	0.139	0.101	0.076	0.059
30	50	0.133	0.143	0.149	0.132	0.124	0.134	0.125	0.126	0.144	0.130	0.134	0.009
	100	0.077	0.087	0.093	0.076	0.065	0.078	0.059	0.081	0.098	0.070	0.078	0.012
	200	0.116	0.085	0.077	0.081	0.051	0.072	0.063	0.080	0.053	0.062	0.074	0.019

จากตารางที่ 4-4 แสดงค่า RMSE ที่ได้จากการทดลองรันโปรแกรม ACS ที่พัฒนาขึ้นในการเลือกข้อสอบและจำลองการตอบข้อสอบจำนวน 10 รอบ ในแต่ละรอบ จะใช้ผู้ทดสอบจำนวน 1,000 คน (ใช้ค่าความสามารถผู้สอบ 1,000 ค่า) โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของวิธี ACS ได้แก่ จำนวนประชากรมด และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ ผลการทดลองปรากฏว่าโมเดล ACS ที่ใช้จำนวนประชากรมดจำนวน 30 ตัว และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบจำนวน 200 รอบ เป็นโมเดลที่แสดงค่า RMSE น้อยที่สุด คือ 0.074 นอกจากนี้ผลการทดลองยังสะท้อนให้เห็นว่า เมื่อใช้จำนวนประชากรมด และรอบจำนวนการค้นหา คำตอบเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย RMSE มีแนวโน้มลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามก็จะส่งผลให้โปรแกรมใช้เวลาในการคำนวณเพื่อค้นหาคำตอบมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4-5 ผลค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

จำนวนประชากรมด (ตัว)	จำนวนรอบ การค้นหาคำตอบของ วิธี ACS (รอบ)	Average Bias ของการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ จากการทดสอบโปรแกรมแต่ละรอบ (รอบที่ 1 –รอบที่ 10)										Mean	SD
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	รอบที่ 6	รอบที่ 7	รอบที่ 8	รอบที่ 9	รอบที่ 10		
		( $n_1=1000$ )	( $n_2=1000$ )	( $n_3=1000$ )	( $n_4=1000$ )	( $n_5=1000$ )	( $n_6=1000$ )	( $n_7=1000$ )	( $n_8=1000$ )	( $n_9=1000$ )	( $n_{10}=1000$ )		
10	50	0.028	0.090	0.031	0.023	0.021	0.051	0.027	0.037	0.012	0.036	0.036	0.022
	100	0.012	-0.108	-0.087	-0.005	-0.083	-0.055	-0.121	0.019	-0.026	-0.001	-0.046	0.052
	200	-0.050	-0.068	-0.099	-0.057	-0.189	-0.107	-0.093	-0.013	-0.078	-0.053	-0.081	0.047
20	50	-0.091	-0.085	0.012	-0.081	-0.020	-0.072	0.010	0.047	-0.095	0.016	-0.036	0.054
	100	-0.032	-0.031	-0.025	-0.042	-0.024	-0.071	-0.089	-0.038	-0.099	-0.044	-0.050	0.027
	200	-0.059	-0.121	-0.027	-0.123	-0.144	-0.032	-0.036	-0.017	-0.079	-0.098	-0.074	0.046
30	50	-0.015	-0.005	0.001	-0.016	-0.028	-0.014	-0.023	-0.022	-0.004	-0.028	-0.015	0.010
	100	-0.071	-0.061	-0.055	-0.072	-0.084	-0.070	-0.079	-0.078	-0.096	-0.034	-0.070	0.017
	200	0.003	0.017	-0.028	0.003	-0.018	-0.024	-0.014	0.125	-0.043	-0.012	0.001	0.047

จากตารางที่ 4-5 แสดงค่า RMSE ที่ได้จากการทดลองรันโปรแกรม ACS ที่พัฒนาขึ้นในการเลือกข้อสอบและจำลองการตอบข้อสอบจำนวน 10 รอบ ในแต่ละรอบ จะใช้ผู้ทดสอบจำนวน 1,000 คน (ใช้ค่าความสามารถผู้สอบ 1,000 ค่า) โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของวิธี ACS ได้แก่ จำนวนประชากรมด และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ ผลการทดลองปรากฏว่าโมเดล ACS ที่ใช้จำนวนประชากรมดจำนวน 30 ตัว และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบจำนวน 200 รอบ เป็นโมเดลที่แสดงค่า Average Bias เข้าใกล้ศูนย์ที่สุด คือ 0.001 ซึ่งมีค่าประมาณความสามารถของผู้สอบสูงกว่าค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ เล็กน้อย (มีค่าบวก)

ตารางที่ 4-6 ผลความยาวของแบบทดสอบ จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

จำนวน ประชากรมด (ตัว)	จำนวนรอบ การค้นหา คำตอบของ วิธี ACS (รอบ)	Median ความยาวของแบบทดสอบ จากการทดสอบโปรแกรมแต่ละรอบ (รอบที่ 1 –รอบที่ 10) (ข้อ)										Median โดยรวม 10,000
		รอบที่ 1 ( $n_1=1000$ )	รอบที่ 2 ( $n_2=1000$ )	รอบที่ 3 ( $n_3=1000$ )	รอบที่ 4 ( $n_4=1000$ )	รอบที่ 5 ( $n_5=1000$ )	รอบที่ 6 ( $n_6=1000$ )	รอบที่ 7 ( $n_7=1000$ )	รอบที่ 8 ( $n_8=1000$ )	รอบที่ 9 ( $n_9=1000$ )	รอบที่ 10 ( $n_{10}=1000$ )	
10	50	21	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21
	100	20	20	21	21	21	20	21	21	21	21	21
	200	23	23	23	23	24	24	23	23	23	23	23
20	50	25	25	24	23	23	23	23	23	23	24	23
	100	25	25	24	24	25	25	25	25	25	25	25
	200	23	23	21	23	25	20	25	25	25	25	25
30	50	19	20	19	19	18	19	19	19	19	19	19
	100	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18
	200	15	15	15	15	15	15	16	15	16	16	15

จากตารางที่ 4-6 แสดงความยาวของแบบทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ ที่ได้จากการทดลองรันโปรแกรม ACS ที่พัฒนาขึ้นในการเลือกข้อสอบและจำลองการตอบข้อสอบจำนวน 10 รอบ ในแต่ละรอบ จะใช้ผู้ทดสอบจำนวน 1,000 คน (ใช้ค่าความสามารถผู้สอบ 1,000 ค่า) โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของวิธี ACS ได้แก่ จำนวนประชากรมด และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ ผลการทดลองปรากฏว่าโมเดล ACS ที่ใช้จำนวนประชากรมดจำนวน 30 ตัว และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบจำนวน 200 รอบ เป็นโมเดลที่แสดงค่า Median โดยรวมจาก 10,000 ค่า ของความยาวของแบบทดสอบน้อยที่สุดคือ 15 ข้อ



ตารางที่ 4-7 ผลจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

จำนวน ประชากร (ตัว)	จำนวนรอบ การค้นหา คำตอบของ วิธี ACS (รอบ)	จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จากการทดสอบโปรแกรมแต่ละรอบ (รอบที่ 1 - รอบที่ 10) (ข้อ)										Median
		รอบที่ 1 ( $n_1=1000$ )	รอบที่ 2 ( $n_2=1000$ )	รอบที่ 3 ( $n_3=1000$ )	รอบที่ 4 ( $n_4=1000$ )	รอบที่ 5 ( $n_5=1000$ )	รอบที่ 6 ( $n_6=1000$ )	รอบที่ 7 ( $n_7=1000$ )	รอบที่ 8 ( $n_8=1000$ )	รอบที่ 9 ( $n_9=1000$ )	รอบที่ 10 ( $n_{10}=1000$ )	
10	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จากตารางที่ 4-7 แสดงจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ที่ได้จากการทดลองรันโปรแกรม ACS ที่พัฒนาขึ้นในการเลือกข้อสอบและจำลองการตอบข้อสอบจำนวน 10 รอบ ในแต่ละรอบ จะใช้ผู้ทดสอบจำนวน 1,000 คน (ใช้ค่าความสามารถผู้สอบ 1,000 ค่า) โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของวิธี ACS ได้แก่ จำนวนประชากร และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ ผลการทดลองปรากฏว่าโมเดล ACS ทุกโมเดล ไม่มีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20

จากผลการทดลองตารางที่ 4-4 ถึง 4-7 ดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ผลสรุปค่าเฉลี่ย RMSE, Average Bias และ Median จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

จำนวนประชากร มด (ตัว)	จำนวนรอบ การค้นหาคำตอบ (รอบ)	ค่าเฉลี่ย RMSE	ค่าเฉลี่ย Average Bias	ค่า Median โดยรวมของ ความยาวของ แบบทดสอบ (ข้อ)	ค่า Median จำนวนข้อสอบที่ มีอัตราการใช้ ข้อสอบมากกว่า 0.2 (ข้อ)
10	50	0.271	0.036	21	0
	100	0.189	-0.046	21	0
	200	0.154	-0.081	23	0
20	50	0.164	-0.036	23	0
	100	0.098	-0.050	25	0
	200	0.076	-0.074	25	0
30	50	0.134	-0.015	19	0
	100	0.078	-0.070	18	0
	200	0.074	0.001	15	0

จากตารางที่ 4-8 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยเมื่อทดสอบโปรแกรมครบ 10 รอบ ของค่า RMSE, ค่า Average Bias ค่า Median โดยรวมของความยาวของแบบทดสอบ และค่า Median จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20

จากผลการทดลองสามารถสรุปผล การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด ได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. จัดกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบตามค่าความยากของข้อสอบ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) ด้วยวิธี K-Means Clustering และเลือกข้อสอบข้อถัดไปตามกฎการเลือกข้อสอบนำมาจัดเรียงบนโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม 6 ระดับ

2. ออกแบบกระบวนการของวิธีอาณานิคมมด โดยการจำลองผลการตอบข้อสอบเพื่อวัดความเหมาะสมของการเลือกข้อสอบข้อถัดไป ระหว่างกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด โดยการจำลองผลการตอบข้อสอบจำนวน 6 ข้อต่อ TDT หนึ่งฝั่ง ซึ่งการจำลองผลการตอบข้อสอบดังกล่าวจะใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่มี ความสามารถสูง ปานกลาง และต่ำจำนวนอย่างละ 5 ค่า ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 15 ค่า จากนั้นคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของค่าความสามารถที่แท้จริง และค่าความสามารถที่ได้จากการประมาณค่า เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจความเหมาะสมของข้อสอบแต่ละ TDT

3. เชื่อมโยงกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ให้สัมพันธ์กับวิธีระบบอาณานิคมที่ออกแบบไว้ โดยดำเนินการนำขั้นตอนการพัฒนาขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ดังกล่าว ให้สามารถทำงานประสานกับกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ทั้ง 5 กระบวนการได้

จากขั้นตอนการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า โมเดลวิธี ACS ที่ใช้จำนวนประชากรมดจำนวน 30 ตัว และจำนวนรอบการค้นหาคำตอบจำนวน 200 รอบ เป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไป เนื่องจากสามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้แม่นยำที่สุด และใช้ความยาวของแบบทดสอบน้อยที่สุด พร้อมทั้งไม่ปรากฏว่ามีข้อสอบข้อใดที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกผลลัพธ์จากโมเดลดังกล่าวนำไปเปรียบเทียบกับวิธี MIC และวิธี HC-Ex ต่อไป

## ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่นิยมใช้กันทั่วไป และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีแนวคิดที่นักวิจัยส่วนใหญ่นิยมพัฒนา ซึ่งเปรียบเทียบวิธีการทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่

1. วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (Maximum Information Criterion: MIC)
2. วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวริคซ์ และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ (Hurwicz Criterion with Item Exposure Control: HC-Ex)
3. วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม (Ant Colony System: ACS)

โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้าน 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ 2) ความยาวของแบบทดสอบ และ 3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ซึ่งจะดำเนินการด้วยการศึกษาในสถานการณ์จำลอง โดยจำลองสถานการณ์การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่แตกต่างกันใน 3 วิธีข้างต้น การทดสอบในแต่ละวิธีดำเนินการทำซ้ำทั้งหมด 10 รอบ โดยทุกรอบใช้คลังข้อสอบจำลอง ขนาด 500 ข้อ ชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด ชุดละ 1,000 ค่า โดยการทดสอบรอบที่ 1 ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 1 การทดสอบรอบที่ 2 ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 2 จนกระทั่งถึงการทดสอบรอบที่ 10 ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 10 ซึ่งการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปทุกวิธี ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ 10 ชุดนี้ เหมือนกัน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป แบ่งได้ 3 ประเด็น ดังนี้

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ
- การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ เป็น การเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\hat{\theta}$ ) ที่ได้รับจากการศึกษาในสถานการณ์จำลอง

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปแตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธี MIC, วิธี HC-Ex และวิธี ACS ซึ่งทุกวิธีถูกทำซ้ำ 10 รอบ โดยใช้คลังข้อสอบจำลองขนาด 500 ข้อ ชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด ชุดละ 1,000 ค่า ผลการศึกษาในแต่ละรอบ ทุกวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป จะได้ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ 1,000 ค่า แล้วนำมาคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) แสดงดังตารางที่ 4-9 (รายละเอียดค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ การคำนวณค่า RMSE และค่าความลำเอียงเฉลี่ย แสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4-9 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความลำเอียงเฉลี่ยของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

รอบที่	n (คน)	วิธี MIC		วิธี HC-Ex		วิธี ACS	
		RMSE	Average Bias	RMSE	Average Bias	RMSE	Average Bias
1	1,000	0.583	0.055	0.348	0.001	0.116	0.003
2	1,000	0.573	0.081	0.362	0.005	0.085	0.017
3	1,000	0.564	0.053	0.344	0.001	0.077	-0.028
4	1,000	0.576	0.044	0.348	-0.005	0.081	0.003
5	1,000	0.504	0.033	0.327	0.006	0.051	-0.018
6	1,000	0.526	0.031	0.339	0.014	0.072	-0.024
7	1,000	0.560	0.059	0.335	0.001	0.063	-0.014
8	1,000	0.620	0.072	0.354	-0.001	0.080	0.125
9	1,000	0.555	0.088	0.322	-0.006	0.053	-0.043
10	1,000	0.580	0.061	0.333	-0.026	0.062	-0.012
Mean		0.564	0.058	0.341	-0.001	0.074	0.001
SD		0.030	0.018	0.012	0.010	0.019	0.047

จากตารางที่ 4-9 แสดงค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความลำเอียงเฉลี่ยของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ปรากฏว่า วิธี ACS มีค่า RMSE น้อยที่สุด (Mean = 0.074) รองลงมา ได้แก่ วิธี HC-Ex และ MIC ตามลำดับ (Mean = 0.341 และ 0.564 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า วิธี ACS มีประสิทธิภาพการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบสูงสุด และเมื่อพิจารณาความลำเอียงเฉลี่ย ปรากฏว่า วิธีการที่มีค่าความลำเอียงเฉลี่ยเข้าใกล้ 0 มากที่สุด คือวิธี ACS (Mean = 0.001) เท่ากับวิธี HC-Ex (Mean = -0.001) รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC (Mean = 0.058) แสดงให้เห็นว่า วิธี ACS มีความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบสูงสุด เทียบเท่ากับวิธี HC-Ex ในขณะที่วิธี MIC มีค่าประมาณความสามารถของผู้สอบสูงกว่าค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบเล็กน้อย (มีค่าบวก) จากนั้นนำค่า RMSE และ ค่า Average Bias

ของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปทั้ง 3 วิธี ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีต่อไป ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 4-10 ถึง 4-22

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p-value</i>
1.835	2	27	.179

จากตารางที่ 4-10 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปทั้ง 3 วิธี เมื่อพิจารณาค่า *p-value* ปรากฏว่ามีค่ามากกว่า .01 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละวิธีเท่ากัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อว่าค่าเฉลี่ยแต่ละวิธีแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

แหล่งความแปรปรวน	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
ระหว่างกลุ่ม	1.204	2	.602	1185.426**	$p < .01$
ภายในกลุ่ม	.014	27	.001		
รวม	1.218	29			

จากตารางที่ 4-11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE ปรากฏว่า มีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่า RMSE แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบพหุคูณของค่า RMSE โดยการทดสอบด้วยวิธี Scheffe แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

วิธี	<i>Mean</i>	ผลต่างของค่าเฉลี่ย ( <i>Mean Difference</i> )		
		MIC	HC-Ex	ACS
MIC	.564	-	.223**	.490**
HC-Ex	.341		-	.267**
ACS	.074			-

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 4-12 แสดงผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี ปรากฏว่าวิธีการที่มีค่า RMSE แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 มีทั้งหมด 3 คู่ ได้แก่ วิธี MIC กับ HC-Ex วิธี MIC กับ ACS และ วิธี HC-Ex กับ ACS เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของ RMSE จึงสรุปได้ว่าค่า RMSE ของวิธี ACS มีค่าต่ำสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี HC-Ex และวิธี MIC มีค่า RMSE สูงสุด แสดงให้เห็นว่าวิธี ACS มีค่า RMSE น้อยกว่าวิธี MIC และวิธี HC-Ex ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.1

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความลำเอียงเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p-value</i>
2.589	2	27	.094

จากตารางที่ 4-13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) ของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปทั้ง 3 วิธี เมื่อพิจารณาค่า *p-value* ปรากฏว่ามีค่ามากกว่า .01 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละวิธีเท่ากัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อว่าค่าเฉลี่ยแต่ละวิธีแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความลำเอียงเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

แหล่งความแปรปรวน	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
ระหว่างกลุ่ม	.022	2	.011	12.515**	$p < .01$
ภายในกลุ่ม	.024	27	.001		
รวม	.046	29			

จากตารางที่ 4-14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เมื่อพิจารณาจากค่าความลำเอียงเฉลี่ย ปรากฏว่า มีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่าความลำเอียงเฉลี่ย แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบพหุคูณของค่าความลำเอียงเฉลี่ย โดยการทดสอบด้วยวิธี Scheffe แสดงดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่าความลำเอียงเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือก  
ข้อสอบข้อถัดไป

วิธี	Mean	ผลต่างของค่าเฉลี่ย (Mean Difference)		
		MIC	HC-Ex	ACS
MIC	.058	-	.059**	.057**
HC-Ex	-.001		-	-.002
ACS	.001			-

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 4-15 แสดงผลการเปรียบเทียบพหุคูณของค่าความลำเอียงเฉลี่ย จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ปรากฏว่า วิธีการที่มีค่าความลำเอียงเฉลี่ยแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 มีทั้งหมด 2 คู่ ได้แก่ วิธี MIC กับ HC-Ex และวิธี MIC กับ ACS วิธีที่มีค่าความลำเอียงเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 มี 1 คู่ ได้แก่ วิธี HC-Ex กับ ACS เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความลำเอียงเฉลี่ย สรุปได้ว่า วิธี HC-Ex และวิธี ACS มีค่าความลำเอียงเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และมีค่าต่ำกว่าวิธี MIC แสดงให้เห็นว่า วิธี ACS มีค่าความลำเอียงน้อยกว่าวิธีการ MIC ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 แต่วิธี ACS มีค่าความลำเอียงเฉลี่ยเทียบเท่ากับวิธี HC-Ex ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 ดังนั้น ผลการศึกษาจึงเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 บางส่วน

## 2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ โดยพิจารณาจากความยาวของแบบทดสอบ จากวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธี MIC วิธี HC-Ex และวิธี ACS โดยศึกษาในสถานการณ์จำลอง ซึ่งทุกวิธีการถูกทำซ้ำ 10 รอบ โดยใช้คลังข้อสอบจำลองขนาด 500 ข้อ ชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด ชุดละ 1,000 ค่า ผลการศึกษาในแต่ละรอบ ทุกวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป จะได้ค่าความยาวของแบบทดสอบของแต่ละค่า  $\theta$  รวม 1,000 ค่า แสดงได้ดังตารางที่ 4-16 (รายละเอียดค่าความยาวของแบบทดสอบ แสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4-16 ค่าสถิติพื้นฐานของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

รอบที่	n (คน)	Median		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
1	1,000	11	9	15
2	1,000	11	9	15
3	1,000	11	9	15
4	1,000	11	9	15
5	1,000	11	9	15
6	1,000	11	9	15
7	1,000	11	9	16
8	1,000	11	9	15
9	1,000	11	10	16
10	1,000	11	9	16
โดยรวม	10,000	11	9	15

จากตารางที่ 4-16 แสดงค่าสถิติพื้นฐานของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ปรากฏว่า วิธี HC-Ex มีความยาวของแบบทดสอบน้อยสุด (Median = 9) รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC (Median = 11) และวิธี ACS (Median = 15) ตามลำดับ และแสดงผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติได้ดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

วิธี	Median	$\chi^2$	df	p-value
MIC	11	16,439.13**	2	p<.01
HC-Ex	9			
ACS	15			

จากตารางที่ 4-17 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี ด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis ปรากฏว่า มีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความยาวของแบบทดสอบแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ดังนั้น จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ ด้วยการทดสอบ Dunn-Bonferroni แสดงดังตารางที่ 4-18



ตารางที่ 4-18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่

วิธี	ค่าเฉลี่ยของอันดับ	ผลต่างค่าเฉลี่ยของอันดับ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
MIC	12,040.65	-	2,948.74**	-11,828.29**
HC-Ex	9,091.92		-	-14,777.03**
ACS	23,868.94			-

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 4-18 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของความยาวของแบบทดสอบ จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่ โดยนำความยาวของแบบทดสอบทั้งหมด 30,000 ค่า (ได้จาก 3 วิธี  $\times$  10 รอบ  $\times$  1,000 ค่า) มาจัดเรียงอันดับจากน้อยไปมาก แล้วนำอันดับมาคำนวณค่าเฉลี่ย และทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ ด้วย การทดสอบ Dunn-Bonferroni ปรากฏว่า วิธีการที่มีความยาวของแบบทดสอบแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 มีทั้งหมด 3 คู่ ได้แก่ วิธี MIC กับ HC-Ex, วิธี MIC กับ ACS, และวิธี HC-Ex กับ ACS เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของอันดับ สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอันดับจากวิธี HC-Ex มีค่าต่ำสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC และ ACS ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า วิธี ACS มีความยาวของแบบทดสอบมากที่สุด ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 โดยพิจารณาจากจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จากวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธี MIC, วิธี HC-Ex และวิธี ACS โดยศึกษาในสถานการณ์จำลอง ซึ่งทุกวิธีถูกทำซ้ำ 10 รอบ โดยใช้คลังข้อสอบจำลองขนาด 500 ข้อ ชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด ชุดละ 1,000 ค่า ผลจากการศึกษาในแต่ละรอบ ทุกวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป จะได้จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง) ของข้อสอบแต่ละข้อในคลังข้อสอบจำลอง แล้วนำมาคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ ซึ่งจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แสดงได้ดังตารางที่ 4-19 (รายละเอียดจำนวนการใช้ข้อสอบ การคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ แสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4-19 จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

รอบที่	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
1	0	3	0
2	0	1	0
3	0	1	0
4	0	3	0
5	1	2	0
6	0	3	0
7	0	1	0
8	0	2	0
9	0	2	0
10	0	2	0
<i>Median</i>	0	2	0

จากตารางที่ 4-19 แสดงจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ปรากฏว่า วิธี MIC และ ACS มีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 น้อยที่สุดเทียบเท่ากัน ( $Median = 0$ ) รองลงมา ได้แก่ วิธีการ HC-Ex ( $Median = 2$ ) และแสดงผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติได้ดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

วิธี	<i>Median</i>	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>p-value</i>
MIC	0	25.456**	2	$p < .01$
HC-Ex	2			
ACS	0			

จากตารางที่ 4-20 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3 วิธี ด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis ปรากฏว่า มีวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ดังนั้น จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ด้วยการทดสอบ Dunn-Bonferroni แสดงดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่

วิธี	ค่าเฉลี่ยของอันดับ	ผลต่างค่าเฉลี่ยของอันดับ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
MIC	11.15	-	-14.200**	1.150
HC-Ex	25.35		-	15.350**
ACS	10.00			-

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 4-21 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับของจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำแนกตามวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปเป็นรายคู่ โดยมีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำนวน 30 ค่า (ได้จาก 3 วิธี  $\times$  10 รอบ) มาจัดเรียงอันดับจากน้อยไปมาก แล้วนำอันดับมาคำนวณค่าเฉลี่ย และทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอันดับเป็นรายคู่ด้วยการทดสอบ Dunn-Bonferroni ปรากฏว่า วิธีการที่มีจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 มีทั้งหมด 2 คู่ ได้แก่ วิธี MIC กับ HC-Ex และวิธี HC-Ex กับ ACS ส่วนวิธี MIC กับ ACS มีจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของอันดับ สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของอันดับจากวิธี ACS มีค่าต่ำสุด ไม่แตกต่างกับวิธี MIC และวิธี HC-Ex มีค่าเฉลี่ยของอันดับสูงสุด แสดงให้เห็นว่าวิธี ACS มีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำนวนน้อยกว่าวิธี HC-Ex ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 3 แต่วิธี ACS มีข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 จำนวนไม่แตกต่างกับวิธี MIC ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 3 ดังนั้น ผลการศึกษาจึงเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 3 บางส่วน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ผลลัพธ์จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ จะแสดงว่าวิธี ACS และวิธี MIC มีประสิทธิภาพสูงสุดไม่แตกต่างกันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลผลการใช้ข้อสอบ สำหรับทดสอบของวิธี MIC พบว่าข้อสอบถูกเลือกใช้อย่างกระจุกตัวในบางข้อและบางรอบของการทดลองพบข้อสอบบางข้อที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20

ตารางที่ 4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ประสิทธิภาพ	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
ด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ			
ก. พิจารณาจากค่า RMSE	0.564	0.341	0.074
ข. พิจารณาจากค่าความลำเอียงเฉลี่ย	0.058	-0.001	0.001
ด้านความยาวของแบบทดสอบ	11	9	15
ด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20	0	2	0

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพด้านการประมาณความสามารถของผู้สอบ เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE ปรากฏว่า วิธี ACS มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี HC-Ex ส่วนวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความลำเอียงเฉลี่ย ปรากฏว่า วิธี ACS และ HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงสุดเทียบเท่ากัน ส่วนวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ ปรากฏว่า วิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC และวิธี ACS ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ปรากฏว่า วิธี ACS และ MIC มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนวิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพต่ำสุด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี ACS ซึ่งเป็นวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูงในด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ และด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แต่มีประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบต่ำกว่า วิธี MIC และวิธี HC-Ex ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าว เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.1 และเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 ข้อที่ 3 บางส่วน แต่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2

### **ตอนที่ 3 ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม**

การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในการวิจัยนี้ เป็นการนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม มาพัฒนาโปรแกรมการทดสอบในรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ในรูปแบบของ Web Application โดยโปรแกรมการทดสอบนี้ได้ออกแบบให้สามารถเลือกการทดสอบได้ 2 แบบ คือ 1) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม 2) การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งการนำเสนอผลการพัฒนาโปรแกรมได้ 2 ประเด็นดังนี้

1. ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม
    2. ผลการประเมินโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม
      - 2.1 ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ
      - 2.2 ผลการประเมินโดยผู้สอบ
- ในแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

#### **1. ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม**

โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นี้ เป็นการทดสอบเนื้อหาส่วนหนึ่งของรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ในระดับปริญญาตรี ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อสอบ

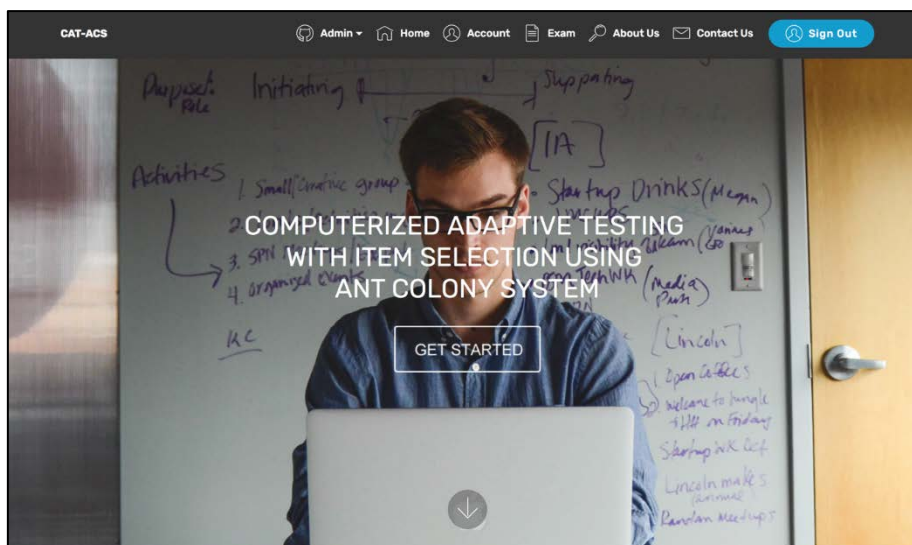


ภาพที่ 4-4 หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือก  
ข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 4-4 ผู้ดูแลระบบกรอก User Name และ Password ที่ผู้พัฒนาระบบได้  
กำหนดให้ และคลิก “Sign In” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-5

ภาพที่ 4-5 หน้าโปรแกรมเมื่อผู้ดูแลระบบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ

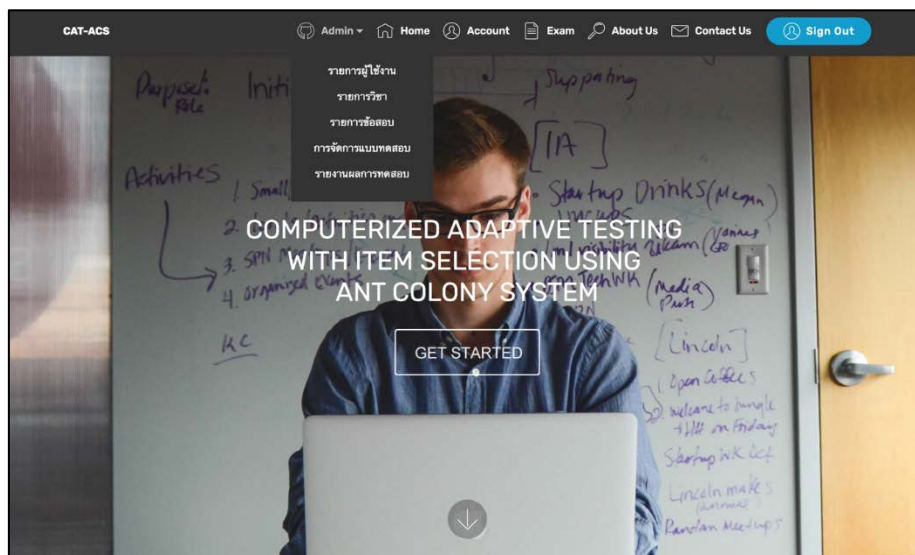
จากภาพที่ 4-5 เมื่อผู้ดูแลระบบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ โปรแกรมจะ  
ปรากฏแถบเมนู “Admin” ขึ้นที่หน้าหลักของโปรแกรม ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 หน้าหลักของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 4-6 จะพบว่า หน้าหลักของโปรแกรมจะปรากฏเมนู เพิ่มจากเดิมอีก 3 เมนู ดังนี้ เมนู “Admin” ใช้สำหรับบริหารจัดการเกี่ยวกับ ข้อสอบ แบบทดสอบ และผู้สอบ, เมนู “Account” ใช้สำหรับเปลี่ยนรหัสผ่าน และเมนู “Exam” ใช้สำหรับทำข้อสอบ

เมนู “Admin” เป็นเมนูที่สำคัญที่สุดของผู้ดูแลระบบ ดังนั้นเมื่อคลิกเมนู “Admin” จะปรากฏดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 เมนูการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

จากภาพที่ 4-7 เมนูบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบของผู้ดูแลระบบ ประกอบไปด้วย 5 เมนู หลักได้แก่

“รายการผู้ใช้งาน”

“รายการวิชา”

“รายการข้อสอบ”

“การจัดการแบบทดสอบ”

“รายงานผลการทดสอบ”

วิธีการใช้งานของแต่ละเมนูข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 1.1.1 รายการผู้ใช้งาน

เมนู “รายการผู้ใช้งาน” เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการ ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ในเรื่องของการเพิ่ม/ลบ/แก้ไข ข้อมูลผู้ดูแลระบบหรือผู้ทดสอบ การกำหนดสิทธิ์ การกำหนดรหัสผ่าน และดูประวัติการทำข้อสอบ เป็นต้น เมื่อคลิกเมนู “รายการผู้ใช้งาน” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-8

#	สิทธิ์	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	สาขาวิชา	คณะ	มหาวิทยาลัย	ประวัติการทำข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
1	User	59192234	นันทวัน ชันตุคร	บริหารกิจการการนิคม	การนิคม		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:37	แก้ไข ลบ ลบถาวร
2	Administrator	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	วิศวกรรมศาสตร์		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 21:40	แก้ไข ลบ ลบถาวร
3	User	59192231	กษิตศ พันบาดร	บริหารกิจการการนิคม	การนิคม		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:33	แก้ไข ลบ ลบถาวร
4	User	59192257	กษิตศ แก้วคินธุ	บริหารกิจการการนิคม	การนิคม		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:58	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 4-8 หน้าโปรแกรมรายการผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 4-8 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู “รายการผู้ใช้งาน” ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

1) เมนู “ค้นหา” เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“สิทธิ์” (Administrator หรือ User)

“ชื่อ-นามสกุล” (ชื่อ-นามสกุลของผู้สอบ)

“สาขาวิชา” (สาขาวิชาของผู้สอบ)

“คณะ” (คณะของผู้สอบ)



“สถานะ” (ใช้งาน, ร้าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร้าง”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยังไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ “ลบ” หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร

2) เมนู“**เพิ่มผู้ใช้งานใหม่**”ใช้สำหรับเพิ่มผู้ใช้งานโปรแกรมทั้ง ผู้ดูแลระบบ/ผู้สอบ เมื่อคลิกเมนู “**เพิ่มผู้ใช้งานใหม่**”ในภาพที่ 4-8 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 4-9

The screenshot shows a web form titled "เพิ่มผู้ใช้งาน" (Add User) on the CAT-ACS system. The form contains the following fields and options:

- ลิ้งค์: (Dropdown menu)
- ชื่อผู้ใช้งาน: User Name
- รหัสผ่าน: Password, Leave blank for auto (4 digit)
- ยืนยันรหัสผ่าน: Password Confirmation
- ตำแหน่ง: Title
- ชื่อ: Name
- นามสกุล: Sur name
- สาขาวิชา: Department
- คณะ: Faculty
- มหาวิทยาลัย: Institution
- สถานะ:  ใช้งาน  ว่าง/งดใช้งาน  ลบ

Buttons: บันทึก (Save), กลับ (Back)

ภาพที่ 4-9 หน้าโปรแกรมของเมนูเพิ่มผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 4-9 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลให้ครบทุกช่องดังตัวอย่างในภาพดังกล่าว เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู“**บันทึก**”ซึ่งเมื่อคลิกบันทึกแล้ว ให้คลิกเมนู“**กลับ**”และ โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 4-8 อีกครั้งพร้อมทั้งแสดงข้อมูลของผู้ใช้งานโปรแกรมตามที่บันทึกไว้

3) “**ดูประวัติการทำข้อสอบ**”จากภาพที่ 4-8 เมนูหลักรายการผู้ใช้งาน สามารถดูประวัติการทำข้อสอบได้ โดยคลิกที่ ข้อความในตารางในคอลัมน์“**ประวัติการทำข้อสอบ**”ซึ่งจะสามารถดูได้เฉพาะรายการของผู้ใช้โปรแกรมที่เคยทำข้อสอบแล้วเท่านั้น เมื่อคลิกแล้วจะปรากฏดังภาพที่ 4-10

CAT-ACS Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

### รายงานผลการทดสอบ

ปีที่ทดสอบ: -- ทั้งหมด -- วิชา: -- ทั้งหมด -- ประเภทแบบทดสอบ: -- ทั้งหมด -- ชื่อแบบทดสอบ:

รหัส:  ชื่อ-นามสกุล:  ค้นหา

จำนวนรายการตามเงื่อนไขที่เลือกแสดง 86 รายการ

#	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	วิชา	ชื่อแบบทดสอบ	วันที่เข้าสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	แบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบที่ทำได้ทั้งหมด	คะแนนรวม	ค่าประมาณความสามารถ	ระดับความสามารถ	ผลสอบ
1	56810003	Ratchakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	04/08/2018	50 : 39 : 7	CT	40	7	N/A	Very Low	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
2	56810003	Ratchakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	08/08/2018	0 : 1 : 56	CAT-ACS	20	20	1.9814	High	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
3	56810004	รัชกฤษ ธนพัฒนดล	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	15/08/2018	49 : 54 : 12	CAT-ACS	17	5	-0.2873	Normal	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ

ภาพที่ 4-10 หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบจากประวัติการทำข้อสอบ

จากภาพที่ 4-10 รายละเอียดของหน้าโปรแกรมนี้จะอธิบายโดยละเอียดอีกครั้งในเมนู “รายงานผลการทดสอบ”

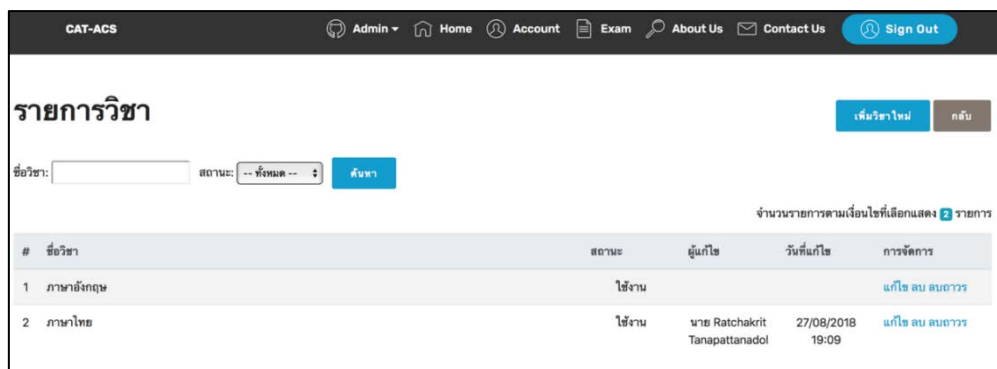
4) เมนู “แก้ไข ลบ ลบถาวร” สามารถอธิบายความแตกต่างได้ดังนี้  
เมื่อคลิก “แก้ไข” โปรแกรมจะแสดงหน้าจอตั้งภาพที่ 4-9 อีกครั้งเพื่อให้แก้ไขข้อมูล และคลิก “บันทึก”

เมื่อคลิก “ลบ” โปรแกรมจะยังไม่ลบข้อมูลผู้ใช้งานที่ต้องการลบออกจากโปรแกรม แต่จะแสดงสถานะในตารางผู้ใช้งานว่า “ลบ”

เมื่อคลิก “ลบถาวร” โปรแกรมจะลบข้อมูลผู้ใช้งานที่ต้องการลบออกจากโปรแกรมทันที

#### 1.1.2 รายการวิชา

เมนู “รายการวิชา” เป็นเมนูที่ใช้ในการเพิ่มวิชาที่ใช้การทดสอบ เมื่อคลิกเมนู “รายการวิชา” (ในภาพที่ 4-7) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 หน้าโปรแกรมรายการวิชา

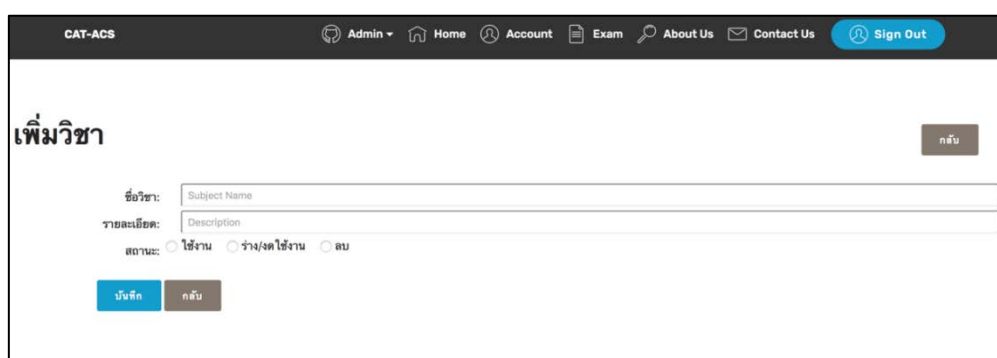
จากภาพที่ 4-11 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“รายการวิชา”ประกอบด้วยเมนูย่อย ดังนี้

1) เมนู“ค้นหา”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรายการวิชาที่ใช้ทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“ชื่อวิชา” (ชื่อวิชาที่ใช้ในการทดสอบ)

“สถานะ” (ใช้งาน, ร้าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร้าง”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยังไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร

2) เมนู“เพิ่มวิชาใหม่”ใช้สำหรับเพิ่มวิชาใหม่ในการทดสอบ เมื่อคลิกเมนู“เพิ่มวิชาใหม่”ในภาพที่ 4-11 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 หน้าโปรแกรมการเพิ่มวิชา

จากภาพที่ 4-12 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูล ชื่อวิชา และรายละเอียดวิชา เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะ

ที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู“**บันทึก**”ซึ่งเมื่อคลิกบันทึกแล้ว ให้คลิก เมนู“**กลับ**”และโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 4-11 อีกครั้งพร้อมทั้งแสดงข้อมูลรายการวิชาตามที่บันทึกไว้

### 1.1.3 รายการข้อสอบ

เมนู“**รายการข้อสอบ**”เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการข้อสอบที่ใช้ทดสอบ ซึ่งเมนูนี้ จะแสดงรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลทั้งหมด รวมถึงการเพิ่มข้อสอบใหม่ การแก้ไข และการลบข้อสอบเป็นต้น เมื่อคลิกเมนู“**รายการข้อสอบ**” (ในภาพที่ 4-7) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-13

ภาพที่ 4-13 หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบ

จากภาพที่ 4-13 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“**รายการข้อสอบ**”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

- 1) เมนู“**ค้นหา**”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้
    - “วิชา”(วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)
    - “ชุดข้อสอบ”(กรณีวิชาที่ทดสอบมีข้อสอบหลายชุด)
    - “กลุ่มความยากของข้อสอบ” (5 กลุ่ม คือ ง่ายมาก ง่าย ปานกลาง ยาก ยากมาก)
    - “โจทย์”(รายการข้อคำถามของข้อสอบ)
    - “สถานะ” (ใช้งาน, ร้าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน” หมายถึง รายการข้อสอบที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร้าง” หมายถึง รายการข้อสอบที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยังไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ” หมายถึง รายการข้อสอบที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร
- เมื่อคลิก“**ค้นหา**”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 4-14

ข้อที่	ชุดข้อสอบ	โจทย์	กลุ่มความยาก	a param.	b param.	c param.	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
1	1. Part of Speech	Jerry <b>leisurely</b> ate his lunch, and then took a long nap. (1) noun (2) verb (3) adverb <i>(Correct!)</i> (4) adjective	ยากมาก	1.0980	1.5130	0.0640	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:23	แก้ไข ลบ
2	1. Part of Speech	When he's told to clean his bedroom, the little boy hides in the <b>tool</b> shed. (1) pronoun (2) adjective <i>(Correct!)</i> (3) adverb (4) noun	ยาก	1.5410	1.1650	0.0540	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:23	แก้ไข ลบ
3	1. Part of Speech	Carey <b>likes</b> to sculpt using clay as a medium. (1) verb <i>(Correct!)</i> (2) adverb (3) adjective (4) pronoun	ง่าย	1.9440	-1.4790	0.0420	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:24	แก้ไข ลบ

ภาพที่ 4-14 หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบจากการค้นหา

จากภาพที่ 4-14 รายการข้อสอบที่ปรากฏสามารถแก้ไขหรือลบได้ โดยการคลิกที่ “แก้ไข/ลบ” ทำรายการข้อมูลข้อสอบข้อนั้น ๆ

2) เมนู “เพิ่มข้อสอบใหม่” ใช้สำหรับเพิ่มรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบ เมื่อคลิกเมนู “เพิ่มข้อสอบใหม่” ในภาพที่ 4-14 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 4-15

เพิ่มข้อสอบ

ชื่อ:  ชุดข้อสอบ:  กลุ่มความยากของข้อสอบ:

โจทย์:

คำเลือกคำตอบข้อ 1:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำเลือกคำตอบข้อ 2:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำเลือกคำตอบข้อ 3:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำเลือกคำตอบข้อ 4:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

a parameter:  0.0000

b parameter:  0.0000

c parameter:  0.0000

สถานะ:  ใช้งาน  ว่าง/หยุดใช้งาน  ลบ

ภาพที่ 4-15 หน้าโปรแกรมการเพิ่มข้อมูลข้อสอบ

จากภาพที่ 4-15 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลรายละเอียดของข้อสอบให้ครบทุกช่อง ได้แก่ ชื่อวิชา, ชุดข้อสอบ, กลุ่มความยากของข้อสอบ, โจทย์ข้อสอบ, ข้อมูลตัวเลือกข้อสอบ, คำตอบที่ถูกต้อง และ ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว ต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู“**บันทึก**” และคลิก“**กลับ**”โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 4-14 อีกครั้ง

### 1.1.3 จัดการแบบทดสอบ

เมนู“**จัดการแบบทดสอบ**”เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการประเภทของการทดสอบ (CT/CAT-ACS) ซึ่งเมนูจัดการแบบทดสอบนี้ สามารถเลือกข้อสอบรายข้อจากคลังข้อสอบ (ระบบฐานข้อมูล) แล้วนำไปจัดชุดแบบทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบแต่ละประเภทได้ เมื่อคลิกเมนู“**จัดการแบบทดสอบ**” (ในภาพที่ 4-7) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-16

ปี	วิชา	ประเภทแบบทดสอบ	ชื่อแบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ร่าง/จัดใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:58	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:55	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018 สร้างจาก ปี 2018 วิชา ภาษาอังกฤษ แบบทดสอบ CT ชื่อ ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	381	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:57	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ภาษาอังกฤษ	5	ลบ	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 20:28	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 4-16 หน้าโปรแกรมการจัดการแบบทดสอบ

จากภาพที่ 4-16 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“**จัดการแบบทดสอบ**”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

- 1) เมนู“**ค้นหา**”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้
  - “ปีที่ทดสอบ” (ปี ค.ศ.ที่ใช้ในการทดสอบ)
  - “วิชา” (วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)
  - “ประเภทการทดสอบ” (ประเภทของการทดสอบ CT/CAT-ACS)
  - “ชื่อแบบทดสอบ” (ชื่อแบบทดสอบที่เคยใช้ทดสอบ)
  - “สถานะ” (ใช้งาน, ร่าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร่าง” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่สร้างขึ้นและจัดเก็บในระบบแต่ยัง

ไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร เมื่อคลิก“ค้นหา”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 13 ที่แสดงแล้วข้างต้น

2) เมนู“สร้างแบบทดสอบใหม่”ใช้สำหรับสร้างแบบทดสอบที่ใช้ทดสอบ เมื่อคลิกเมนู“สร้างแบบทดสอบใหม่” ในภาพที่ 4-16 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 4-17

The screenshot shows a web interface for creating a test. At the top, there is a navigation bar with 'Admin', 'Home', 'Account', 'Exam', 'About Us', 'Contact Us', and 'Sign Out'. The main heading is 'สร้างแบบทดสอบ'. Below it, there are four input fields: 'ปีทดสอบ' (Year), 'วิชา' (Subject), 'ประเภทการทดสอบ' (Test Type), and 'ชื่อแบบทดสอบ' (Test Name). There are two buttons: 'สร้าง' (Create) and 'กลับ' (Back). At the bottom, there is a footer with 'CAT-ACS' logo, contact details, and copyright information.

ภาพที่ 4-17 หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบ

จากภาพที่ 4-17 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลรายละเอียดของแบบทดสอบให้ครบทุกช่อง เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว จากนั้นให้คลิกเมนู“สร้าง”โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 4-18

The screenshot shows the same web interface as before, but now the form is filled with data. The 'ปีทดสอบ' (Year) is '2018', 'วิชา' (Subject) is 'ภาษาอังกฤษ', 'ประเภทการทดสอบ' (Test Type) is 'CT', and 'ชื่อแบบทดสอบ' (Test Name) is 'ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสาร'. The 'สถานที่' (Location) is 'วังเจตโฆราณ'. There are two tables: 'ข้อสอบที่เลือกได้' (Available Questions) and 'ข้อสอบที่เลือกแล้ว' (Selected Questions). The 'Selected Questions' table is empty, showing 'no data'. There are buttons for 'ยืนยันการสร้างแบบทดสอบ' (Confirm), 'บันทึก' (Save), and 'ยกเลิก' (Cancel).

ภาพที่ 4-18 หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบจากคลังข้อสอบ

จากภาพที่ 4-18 ให้คลิกเลือก“วิชา”, “ชุดข้อสอบ” โปรแกรมจะแสดงข้อมูลข้อสอบรายชื่อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือกดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 4-19

สร้างแบบทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS

ชื่อแบบทดสอบ: ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสาร

สถานะ: วาง/งดใช้งาน

ข้อสอบที่เลือกได้	ข้อสอบที่เลือกแล้ว			
ข้อที่	ข้อที่	จุดที่	โจทย์	จำนวน ข้อ
1	1	1	Jerry <b>leisurely</b> ate his lunch, and then took a long nap.	ข้อ
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.0980, b = 1.5130, c = 0.0640				
2	1	1	When he's told to clean his bedroom, the little boy hides in the <b>tool</b> shed.	
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.5410, b = 1.1650, c = 0.0540				
3	1	1	Carey <b>likes</b> to sculpt using clay as a medium.	
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.9440, b = -1.4790, c = 0.0420				
4	1	1	Someone painted smiley faces <b>on</b> all the melons in the supermarket.	

ดำเนินการสร้างแบบทดสอบ    บันทึก    ยกเลิก

ภาพที่ 4-19 หน้าโปรแกรมแสดงรายละเอียดข้อมูลข้อสอบรายชื่อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือก

จากภาพที่ 4-19 ด้านซ้ายของโปรแกรมคือ รายการข้อมูลของข้อสอบรายชื่อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือก จากนั้นให้ทำการเลือกข้อสอบรายชื่อทางด้านซ้ายของโปรแกรม นำไปจัดชุดแบบทดสอบที่กำหนดไว้ทางด้านขวาของโปรแกรม โดยคลิกเลือกที่ เครื่องหมาย ">" ทำรายการข้อสอบข้อนั้น ๆ ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมแสดงได้ดังภาพที่ 4-20

สร้างแบบทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS

ชื่อแบบทดสอบ: ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสาร

สถานะ: วาง/งดใช้งาน

ข้อสอบที่เลือกได้	ข้อสอบที่เลือกแล้ว			
ข้อที่	ข้อที่	จุดที่	โจทย์	จำนวน ข้อ
1	1	1	When he's told to clean his bedroom, the little boy hides in the <b>tool</b> shed.	ข้อ
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.5410, b = 1.1650, c = 0.0540				
2	1	1	Someone painted smiley faces <b>on</b> all the melons in the supermarket.	
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 0.8970, b = -0.3290, c = 0.0710				
3	1	1	Katy didn't mind being a hostage for the bank robbers, but <b>she</b> hated to be seen on television with wrinkled clothes.	
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 2.1860, b = 0.1350, c = 0.0550				
4	1	1	On the arid planet of Pluto, the sun sank <b>beneath</b> the horizon in a burst of green light.	

ข้อที่	จุดที่	โจทย์
1	1	Jerry <b>leisurely</b> ate his lunch, and then took a long nap.
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.0980, b = 1.5130, c = 0.0640		
2	1	Carey <b>likes</b> to sculpt using clay as a medium.
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.9440, b = -1.4790, c = 0.0420		
3	1	<b>French</b> fries and ketchup is a popular American snack.
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.6400, b = 1.9500, c = 0.0530		
4	1	A sticker on the card <b>apologized</b> for the delay, I was amazed.
จุดสอบที่: กลุ่มความยาก = ง่าย, a = 1.7260, b = -0.9790, c = 0.0410		

ดำเนินการสร้างแบบทดสอบ    บันทึก    ยกเลิก

ภาพที่ 4-20 หน้าโปรแกรมรายละเอียดการสร้างแบบทดสอบ



จากภาพที่ 4-20 หากต้องการลบข้อสอบที่นำมาจัดชุดแบบทดสอบทางด้านขวาของโปรแกรมออก ให้คลิกที่ เครื่องหมาย “<” หน้ารายการข้อสอบข้อนั้น ๆ ในกรณีที่ได้แบบทดสอบเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกเลือก เมนู ดังต่อไปนี้

เมนู**“ยืนยันการสร้างแบบทดสอบ”** เมื่อต้องการใช้แบบทดสอบชุดนี้ทำการทดสอบทันที และอยู่ในสถานะ **“ใช้งาน”**

เมนู**“บันทึก”** เมื่อต้องบันทึกแบบทดสอบชุดนี้ไว้ในโปรแกรมก่อนเพื่อนำมาใช้ทดสอบภายหลัง และอยู่ในสถานะ **“ร่าง/งดใช้งาน”**

เมนู**“ยกเลิก”** เมื่อต้องการยกเลิกการจัดแบบทดสอบ  
จากนั้นโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 4-21

ปี	วิชา	ประเภทแบบทดสอบ	ชื่อแบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ร่าง/งดใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:58	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:55	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018 <small>สร้างจาก ปี 2018 วิชา ภาษาอังกฤษ แบบทดสอบ CT ชื่อ ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียน ในระดับปริญญาตรี ปี 2018</small>	381	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:57	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ภาษาอังกฤษ	5	ลบ	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 20:28	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 4-21 หน้าโปรแกรมแสดงรายการแบบทดสอบทั้งหมดที่สร้างสำเร็จ

จากภาพที่ 4-21 รายการแบบทดสอบที่จัดขึ้นครั้งล่าสุดจะแสดงรายการต่อต้านท้ายของรายการแบบทดสอบที่จัดไว้ทั้งหมด นอกจากนี้รายการแบบทดสอบสามารถแก้ไขหรือลบได้ โดยการคลิกที่**“แก้ไข/ลบ”**ด้านท้ายของแต่ละรายการแบบทดสอบ

#### 1.1.4 รายงานผลการทดสอบ

เมนู**“รายงานผลการทดสอบ”**เป็นเมนูที่ใช้ในการแสดงรายการผลการทดสอบของผู้สอบรายบุคคล ทุกประเภทของการทดสอบ (CT/CAT-ACS) เมื่อคลิกเมนู**“รายงานผลการทดสอบ”** (ในภาพที่ 4-7) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-22

#	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	วิชา	ชื่อแบบทดสอบ	วันที่เข้าสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	แบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบที่ทำได้ทั้งหมด	คะแนนรวม	ค่าประมาณความสามารถ	ระดับความสามารถ	ผลสอบ
1	56810003	Ratchakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	04/08/2018	50 : 39 : 7	CT	40	7	N/A	Very Low	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
2	56810003	Ratchakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	08/08/2018	0 : 1 : 56	CAT-ACS	20	20	1.9814	High	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
3	56810004	รัชฎษ ธนพัฒนผล	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	15/08/2018	49 : 54 : 12	CAT-ACS	17	5	-0.2873	Normal	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ

ภาพที่ 4-22 หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบ

จากภาพที่ 4-22 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“รายงานผลการทดสอบ” ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

1) เมนู“ค้นหา”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลการทดสอบของผู้ทดสอบรายบุคคล ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“ปีที่ทดสอบ” (ปี ค.ศ.ที่ใช้ในการทดสอบ)

“วิชา” (วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)

“ประเภทแบบทดสอบ” (CT/CAT-ACS)

“ชื่อแบบทดสอบ” (ชื่อแบบทดสอบที่ใช้ทดสอบ)

“รหัส” (รหัสผู้สอบ)

“ชื่อ-นามสกุล” (ชื่อ-นามสกุลผู้สอบ)

เมื่อคลิก“ค้นหา”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 4-22 ที่แสดงข้างต้น นอกจากนี้แต่ละรายการผลการทดสอบสามารถดูรายละเอียดผลการทดสอบ ได้โดยการคลิกที่“ผลสอบ”ด้านท้ายรายการผลการทดสอบ ซึ่งการรายงานผลสอบประเภท CAT-ACS และ CT โปรแกรมจะแสดงหน้าจอรายงานผลสอบคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือ การทดสอบประเภท CT จะไม่รายงานค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ตัวอย่างเช่นเมื่อคลิก“ผลสอบ”และเลือกการทดสอบประเภท CAT-ACS โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-23

ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	5	100.00
2	Using Context Clues	5	5	100.00
3	Word Formation	5	5	100.00
4	Making Inferences	5	5	100.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>20</b>	<b>100.00</b>

ภาพที่ 4-23 หน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-23 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้ดูแลระบบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“**รายละเอียดผลการทดสอบ**”ใช้สำหรับดูรายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อของผู้สอบ ดังภาพที่ 4-24

เมนู“**พิมพ์**”ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบ ดังภาพที่ 4-25

เมนู“**ลบถาวร**”ใช้สำหรับลบผลการทดสอบ

CAT-ACS Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

### รายละเอียดผลการทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS  
 ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018  
 จำนวนข้อทั้งหมด: 20 ข้อ, จำนวนข้อที่ผ่าน: 20 ข้อ  
 เวลาที่เข้าข้อสอบ: 08/08/2018 20:03 ถึง 08/08/2018 20:05  
 จำนวนข้อที่ถูกต้อง: 20 ข้อ

**ข้อที่ 1.** He has **become** a new person since he left her.  
 1. verb (CORRECT)  
 2. adverb  
 3. noun  
 4. preposition  
 อนุญาต  
 v = 0.6992, ability=0.5277

**ข้อที่ 2.** I feel great **sympathy** for anyone who loses his or her job.  
 1. pity (CORRECT)  
 2. hatred  
 3. enmity  
 4. hostility  
 อนุญาต  
 v = 0.5237, ability=0.8241

ภาพที่ 4-24 รายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-24 ผู้ดูแลระบบสามารถดูรายละเอียดการทำแบบทดสอบรายข้อของผู้สอบแต่ละคนได้ว่าแบบทดสอบข้อใดผู้สอบตอบถูกหรือผิด

รายงานผลการทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS  
 ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018

Student Name	: Ratchakrit Tanapattanadol	Student No.	: 56810003
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
Date	: 08/08/2018	Time	: 0 Hours 1 Minutes 56 Seconds
Testing	: 20 Items	Correct	: 20
Ability Estimate	: 1.9814	Ability Level	: <b>ดีมาก</b>

ข้อที่	ชื่อข้อ	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	เปอร์เซ็นต์
1	Part of Speech	5	5	100.00
2	Using Context Clues	5	5	100.00
3	Word Formation	5	5	100.00
4	Making Inferences	5	5	100.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>20</b>	<b>100.00</b>

ภาพที่ 4-25 การพิมพ์ผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-25 ผู้ดูแลระบบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายคนได้

## 1.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมของผู้สอบ

การเข้าใช้งานโปรแกรมให้ผู้สอบคลิกที่เมนู“*Sign In*”โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่

4-26

ภาพที่ 4-26 หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับผู้สอบ

จากภาพที่ 4-26 ผู้สอบกรอก User Name และ Password ที่ผู้พัฒนาระบบได้กำหนดให้ และคลิก“*Sign In*”โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-27

ภาพที่ 4-27 หน้าโปรแกรมเมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ

จากภาพที่ 4-27 เมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ ให้ผู้สอบคลิกที่เมนู“*Exam*” เพื่อทำแบบทดสอบ โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-28

ภาพที่ 4-28 หน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

จากภาพที่ 4-28 ให้ผู้สอบเลือกวิชาสอบ และประเภทการทดสอบ จากนั้นคลิกเมนู“**ทำข้อสอบ**”

การทำแบบทดสอบผู้สอบสามารถเลือกประเภทการทดสอบได้ 2 แบบดังนี้

- 1) การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS
- 2) การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CT

### 1.2.1 การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS

หากผู้สอบเลือกประเภทการทดสอบแบบ CAT-ACS โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบตามวิชาที่เลือก ดังภาพที่ 4-29

ภาพที่ 4-29 หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-29 การทำแบบทดสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS เมื่อผู้สอบคลิกตัวเลือกของข้อสอบแต่ละข้อแล้วให้คลิกที่เมนู“**ข้อถัดไป>>**”เพื่อทำข้อสอบข้อถัดไป หาก

ต้องการแก้ไขข้อสอบที่ทำไปแล้วข้อก่อนหน้าสามารถคลิกที่เมนู “<<ข้อที่แล้ว” ให้ผู้สอบทำข้อสอบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งโปรแกรมขึ้นเมนู “ส่งกระดาษคำตอบ” จากนั้นให้ผู้สอบคลิกส่งกระดาษคำตอบ ดังภาพที่ 4-30

The screenshot shows the CAT-ACS exam interface. At the top, there are navigation links: Home, Account, Exam, About Us, Contact Us, and Sign Out. The main heading is "การทดสอบแบบ CAT-ACS". Below this, there is a section for the exam details: "ปีที่ทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS" and "ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018". It also states "จำนวนข้อสอบที่ทำแล้ว 20 ข้อ" and has a button labeled "\*\* ส่งกระดาษคำตอบ \*\*".

The question is: "โจทย์ ข้อที่ 20. Randy smelled smoke. He looked outside and saw where it was coming from. A pile of leaves had caught on fire! Randy ran to the phone and started dialing. It can be implied that Randy probably calls to \_\_\_\_."

The options are:
 

- 1. his doctor
- 2. his cousin
- 3. the market
- 4. the fire department

At the bottom right, there is a button labeled "\*\* ส่งกระดาษคำตอบ \*\*".

ภาพที่ 4-30 หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-30 เมื่อผู้สอบคลิกเมนู “ส่งกระดาษคำตอบ” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 4-31

The screenshot shows the CAT-ACS exam results page. At the top, there are navigation links: Home, Account, Exam, About Us, Contact Us, and Sign Out. The main heading is "ผลการทดสอบแบบ CAT-ACS". Below this, there is a section for the exam details: "ปีที่ทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS" and "ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018".

The student information is as follows:
 

Student Name	: รัชกฤษ ธนพัฒน์กุล	Student No.	: 41112003
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
Date	: 26/08/2018	Time	: 0 Hours 3 Minutes 25 Seconds
Testing	: 20 Items	Correct	: 6
Ability Estimate	: -1.4565	Ability Level	: <b>Rather Low</b>

Below the student information is a table showing the results for each question:

ข้อที่	ชื่อข้อ	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	1	20.00
2	Using Context Clues	5	2	40.00
3	Word Formation	5	0	0.00
4	Making Inferences	5	3	60.00
รวม		20	6	30.00

At the bottom left, there is a button labeled "พิมพ์" and at the bottom right, there is a button labeled "กลับ".

ภาพที่ 4-31 หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพ 4-31 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้สอบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“พิมพ์”ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบรายคน ดังภาพที่ 4-32

เมนู“กลับ”ใช้สำหรับกลับไปหน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

ผลการทดสอบแบบ CAT-ACS				
ปีที่ทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS				
ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018				
Student Name	: รัชกฤษ ธนพัฒน์กุล	Student No.	: 41112003	
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
Date	: 26/08/2018	Time	: 0 Hours 3 Minutes 25 Seconds	
Testing	: 20 Items	Correct	: 6	
Ability Estimate	: -1.4565	Ability Level	: <b>Rather Low</b>	
ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	1	20.00
2	Using Context Clues	5	2	40.00
3	Word Formation	5	0	0.00
4	Making Inferences	5	3	60.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>6</b>	<b>30.00</b>

ภาพที่ 4-32 การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 4-32 ผู้สอบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายคนได้ ทั้งนี้เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถของผู้สอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-23

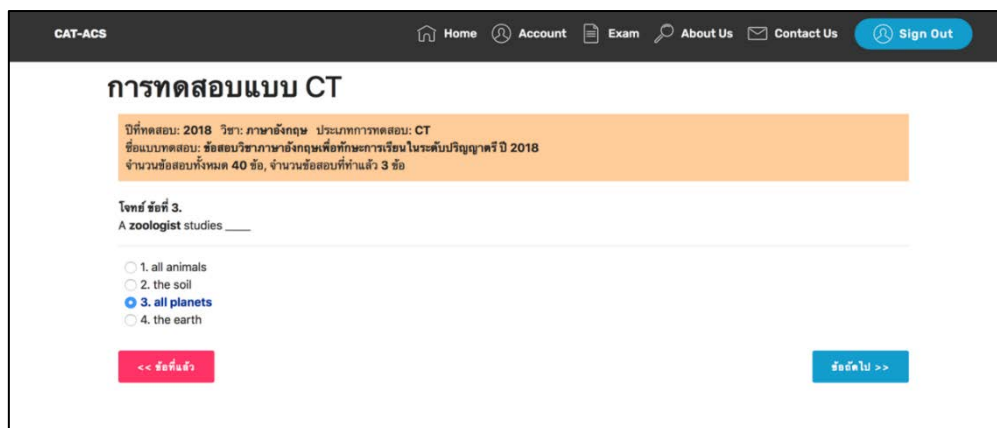
ตารางที่ 4-23 เกณฑ์ประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ	ระดับความสามารถ
มากกว่า 2.0000	Very High
1.0001 ถึง 2.0000	High
0.5001 ถึง 1.0000	Rather High
-0.4999 ถึง 0.5000	Normal
-1.4999 ถึง -0.5000	Rather Low
-2.0000 ถึง -1.5000	Low
ต่ำกว่า -2.0000	Very Low



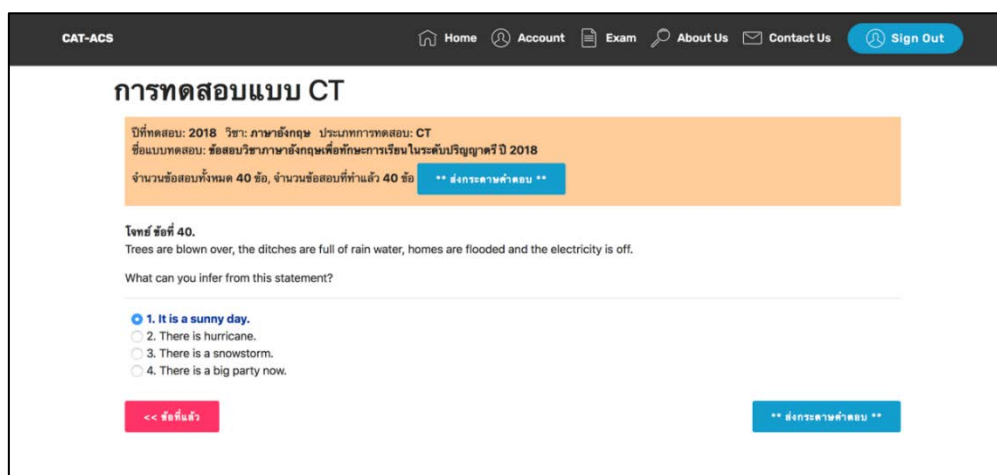
## 1.2.2 การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CT

หากผู้สอบเลือกประเภทการทดสอบแบบ CT โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบตามวิชาที่เลือก ดังภาพที่ 4-33



ภาพที่ 4-33 หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 4-33 การทำแบบทดสอบของการทดสอบประเภท CT เมื่อผู้สอบคลิกตัวเลือกของข้อสอบแต่ละข้อแล้วให้คลิกที่เมนู "ข้อถัดไป" เพื่อทำข้อสอบข้อถัดไป หรือคลิกที่เมนู "<< ข้อที่แล้ว" หากต้องการแก้ไขการทำข้อสอบข้อก่อนหน้า และให้ผู้สอบทำข้อสอบไปจนกระทั่งโปรแกรมขึ้นเมนู "ส่งกระดาษคำตอบ" จากนั้นให้ผู้สอบคลิกส่งกระดาษคำตอบ ดังภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-34 หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 4-34 เมื่อผู้สอบคลิกเมนู“ส่งกระดาษคำตอบ” โปรแกรมจะปรากฏ ดังภาพที่ 4-35

**ผลการทดสอบแบบ CT**

ปีที่ทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CT  
 ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018

Student Name	: รัชกฤษ อนุพัฒน์ผล	Student No.	: 41112003
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
Date	: 26/08/2018	Time	: 0 Hours 9 Minutes 30 Seconds
Testing	: 40 Items	Correct	: 10
Ability Estimate	: N/A	Ability Level	: <b>Very Low</b>

ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	10	4	40.00
2	Using Context Clues	10	2	20.00
3	Word Formation	10	3	30.00
4	Making Inferences	10	1	10.00
<b>รวม</b>		<b>40</b>	<b>10</b>	<b>25.00</b>

พิมพ์ กลับ

ภาพที่ 4-35 หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 4-35 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้สอบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“พิมพ์”ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบรายคน ดังภาพที่ 4-36

เมนู“กลับ”ใช้สำหรับกลับไปหน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

ผลการทดสอบแบบ CT				
ปีที่ทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CT				
ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018				
Student Name	: รัชกฤษ อนุพัฒน์กุล	Student No.	: 41112003	
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
Date	: 26/08/2018	Time	: 0 Hours 9 Minutes 30 Seconds	
Testing	: 40 Items	Correct	: 10	
Ability Estimate	: N/A	Ability Level	: <b>Very Low</b>	
ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	10	4	40.00
2	Using Context Clues	10	2	20.00
3	Word Formation	10	3	30.00
4	Making Inferences	10	1	10.00
<b>รวม</b>		<b>40</b>	<b>10</b>	<b>25.00</b>

ภาพที่ 4-36 การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 4-36 ผู้สอบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายผู้สอบได้ เหมือนกับ รายงานผลการทดสอบแบบ CAT-ACS แต่แตกต่างตรงผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ จะพิจารณาจากคะแนนรวมของผู้สอบ ซึ่งเป็นจำนวนข้อสอบที่ตอบถูก และปรับเทียบระดับความสามารถ โดยใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-24 เกณฑ์เทียบระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

คะแนนรวม (ร้อยละ)	จำนวนข้อสอบที่ตอบถูก	ระดับความสามารถ
ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป	ตั้งแต่ 32 ข้อ ขึ้นไป	Very High
70-79%	28-31 ข้อ	High
60-69%	24-27 ข้อ	Rather High
50-59%	20-23 ข้อ	Normal
40-49%	16-19 ข้อ	Rather Low
30-39%	12-15 ข้อ	Low
ต่ำกว่า 30%	ต่ำกว่า 12 ข้อ	Very Low

## 2. ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี นำเสนอได้ 2 ส่วน ดังนี้

## 2.1 ผลการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ พร้อมคู่มือการใช้โปรแกรมส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ได้ประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมใน 5 ด้าน คือ 1) ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม 2) การทำงานของโปรแกรม 3) การใช้งานของโปรแกรม 4) ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรม 5) ความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรม ซึ่งประเมินในระหว่างวันที่ 17 - 24 สิงหาคม พ.ศ. 2561 สามารถแสดงผลลัพธ์การประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมได้ดังนี้

ตารางที่ 4-25 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. การออกแบบโปรแกรมมีความน่าสนใจ	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษรและรูปภาพ	4.67	0.58	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบาย/สื่อความหมาย	4.33	0.58	มากที่สุด
4. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ	4.33	0.58	มากที่สุด
สรุปผล	4.58	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-25 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านลักษณะทั่วไปอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.58)

ตารางที่ 4-26 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านการทำงานของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. โปรแกรมสามารถเพิ่ม/ลบ หรือแก้ไขข้อสอบได้	5.00	0.00	มากที่สุด
2. โปรแกรมสามารถคำนวณผลลัพธ์ของการทดสอบได้ถูกต้อง	5.00	0.00	มากที่สุด
3. โปรแกรมสามารถบันทึก/แก้ไขข้อมูลผู้ทดสอบได้	4.67	0.58	มากที่สุด
4. โปรแกรมแสดงรายงานผลการทดสอบได้อย่างเหมาะสม	4.33	0.58	มาก
5. โปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการ กระบวนการทดสอบได้อย่างถูกต้อง	4.33	0.58	มาก
6. โปรแกรมสามารถจัดการทดสอบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ หรือเงื่อนไขของการทดสอบได้	4.67	0.58	มากที่สุด
สรุปผล	4.67	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-26 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านการทำงาน  
ของโปรแกรม โดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านการทำงาน อยู่ใน  
ระดับมากที่สุด (Mean = 4.67)

ตารางที่ 4-27 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านการใช้งานของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. การเรียกใช้งานโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย	5.00	0.00	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน	5.00	0.00	มากที่สุด
3. การแสดงผลข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว	4.67	0.58	มากที่สุด
4. ผู้ใช้สามารถบันทึกผลการทดสอบและสั่งพิมพ์ผลการทดสอบ ได้สะดวก	5.00	0.00	มากที่สุด
5. โปรแกรมมีระบบป้องกันความผิดพลาดของผู้ใช้ ทุกขั้นตอน	4.67	0.58	มากที่สุด
สรุปผล	4.87	0.35	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-27 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านการใช้งาน  
ของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านการใช้งาน อยู่ใน  
ระดับมากที่สุด (Mean = 4.87)

ตารางที่ 4-28 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรมโดย  
ผู้เชี่ยวชาญ

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. การกำหนดรหัสผู้ใช้ และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้เข้าใช้ โปรแกรม	4.67	0.58	มากที่สุด
2. การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิ์ของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง	4.67	0.58	มากที่สุด
3. การป้องกันการเข้าใช้ระบบจากผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง	4.33	0.58	มาก
สรุปผล	4.56	0.53	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-28 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านความ  
ปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรม โดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมใน  
ด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.56)

ตารางที่ 4-29 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรมโดย  
ผู้เชี่ยวชาญ

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. อธิบายความเป็นมาและจุดมุ่งหมายของการพัฒนาโปรแกรมอย่างชัดเจน	4.67	0.58	มากที่สุด
2. คู่มือการใช้โปรแกรมแสดงวิธีการใช้งานอย่างมีลำดับขั้นตอน	4.33	0.58	มาก
3. ภาษาที่ใช้ในคู่มือการใช้โปรแกรมมีความชัดเจนเข้าใจง่าย	5.00	0.00	มากที่สุด
4. คู่มือมีการใช้ภาพประกอบการอธิบายกระบวนการต่าง ๆ อย่างชัดเจน	5.00	0.00	มากที่สุด
5. หลังจากอ่านคู่มือแล้ว ผู้ใช้มีความมั่นใจว่าสามารถใช้โปรแกรมได้	5.00	0.00	มากที่สุด
สรุปผล	4.80	0.41	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-29 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรม โดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.80)

นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญยังมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

- 1) เมนู Exam ควรเห็นเฉพาะเมื่อทำการ Sign in แล้ว
- 2) เมื่อสร้างผู้ใช้งานควรบังคับกรอก Password ไม่ควรให้แก้ไข Username ของผู้ใช้งานได้ การแก้รหัสผ่าน ให้ใช้ \* และกรอกซ้ำ 2 ครั้ง (มีช่อง Confirm Password) และควรตรวจสอบผู้ใช้สถานะร่าง/งดใช้งาน/ลบให้ Sign in ไม่ได้
- 3) มีการกำหนดวิชา+ชุดข้อสอบ ผังค่าลงในหน้าเว็บ ทำให้เพิ่มวิชาต่าง ๆ ทำได้ยาก ควรออกแบบให้รองรับกับการใช้ทดสอบในหลายวิชา -> ชุดทดสอบ -> แบบทดสอบ
- 4) ในการทำแบบทดสอบแบบ CT เนื่องจากมีหลายข้อและสามารถเว้นไว้ และกลับมาทำใหม่ได้ ควรแสดงสถานะว่าแต่ละข้อทำแล้วหรือยังไม่ได้ทำ และสามารถเลือกกลับไปข้อที่ยังไม่ได้ทำได้
- 5) หน้ารายงานผลการทดสอบ ควรแสดงชื่อแบบทดสอบด้วย และสามารถค้นหาตามชื่อแบบทดสอบที่มีอยู่ได้

6) เพิ่มช่องกรอกชื่อ มหาวิทยาลัยในโปรแกรมเมนูการเพิ่มผู้ใช้

7) ควรใช้โทนสีและรูปแบบของ Message box รูปแบบเดียวกันทั้งโปรแกรม

## 2.2 ผลการประเมินความเหมาะสมโดยผู้ใช้งาน

การประเมินความเหมาะสมโดยผู้ใช้งาน เป็นการประเมินความคิดเห็นในด้านความสะดวกในการนำไปใช้ และด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม โดยทดลองใช้กับนักศึกษาคณะการบิณฑาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย จำนวน 30 คน ในวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2561 สามารถแสดงผลลัพธ์การประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมได้ดังนี้

ตารางที่ 4-30 ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านความสะดวกในการใช้  
โปรแกรม โดยผู้ใช้งาน

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. การเข้าถึงโปรแกรมทำได้ง่ายและสะดวก	4.53	0.57	มากที่สุด
2. โปรแกรมมีเมนูที่เข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมได้ง่ายและสะดวก	4.50	0.57	มากที่สุด
3. การสอบโดยใช้โปรแกรมมีความสะดวกกว่าเมื่อเทียบกับการสอบบนกระดาษ	4.53	0.51	มากที่สุด
4. โปรแกรมมีการแสดงผลการสอบทันที เมื่อทดสอบเสร็จ	4.57	0.57	มากที่สุด
5. การแสดงผลสอบมีรายละเอียดครบถ้วน	4.63	0.56	มากที่สุด
สรุปผล	4.55	0.55	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-30 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านความสะดวกในการใช้โปรแกรม โดยผู้ใช้งาน แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านความสะดวกในการใช้โปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.55)

ตารางที่ 4-31 ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม  
โดยผู้ใช้งาน

รายประเมิน	Mean	SD	ระดับความเหมาะสม
1. การออกแบบโปรแกรมมีความน่าสนใจ	4.57	0.50	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน	4.47	0.68	มาก
3. การแสดงผลข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว	4.77	0.43	มากที่สุด
4. โปรแกรมมีระบบป้องกันการทำงานผิดพลาดของผู้ใช้ทุกขั้นตอน เช่น มีข้อเสนอแนะปรากฏขึ้นเมื่อใช้เมาส์ชี้ หรือเมื่อผู้ใช้ ใช้งานผิด	4.33	0.55	มาก
สรุปผล	4.53	0.56	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-31 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม โดยผู้ใช้งาน แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมในด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.53)

**ตอนที่ 4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์**

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 ในคณะกรรมการบริหาร มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ซึ่งคัดเลือกด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบตามสะดวก จำนวน 30 คน ดำเนินการเก็บข้อมูลในวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2561 โดยใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด ทำการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยได้ผลการวิจัยดังนี้

ตารางที่ 4-32 ความยาวของแบบทดสอบ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

คนที่	ความยาวของแบบทดสอบ (ข้อ)		เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (นาที: วินาที)		ผลการทดสอบ	
	CAT-ACS	CT	CAT-ACS	CT	CAT-ACS ( $\theta$ )	CT (คะแนนรวม)
1	15	40	11:24	27:24	-0.46	23
2	20	40	13:22	25:44	0.41	22
3	18	40	07:36	15:20	-0.78	18
4	15	40	11:18	26:59	-0.63	17
5	17	40	18:48	27:19	1.34	28
6	18	40	15:56	24:26	-1.18	17
7	19	40	12:19	21:34	0.20	20
8	15	40	17:22	22:31	-1.20	18
9	16	40	09:16	13:15	-0.89	19
10	15	40	18:12	27:50	0.56	25
11	15	40	13:20	34:58	-0.46	23
12	15	40	16:50	31:41	1.42	30
13	18	40	10:47	13:05	-0.88	19
14	20	40	07:54	16:33	-0.12	20
15	15	40	14:30	21:30	0.29	23
16	20	40	09:41	11:26	-1.15	16
17	15	40	13:50	21:23	-1.29	16
18	18	40	21:36	30:48	0.21	20



คนที่	ความยาวของแบบทดสอบ (ข้อ)		เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (นาที: วินาที)		ผลการทดสอบ	
	CAT-ACS	CT	CAT-ACS	CT	CAT-ACS ( $\theta$ )	CT (คะแนนรวม)
19	15	40	06:24	37:28	-1.14	19
20	15	40	15:38	18:37	-0.05	30
21	19	40	07:32	20:16	-0.55	19
22	18	40	13:32	26:06	0.75	31
23	15	40	16:10	26:57	-0.22	20
24	15	40	09:28	16:11	0.58	24
25	20	40	16:28	21:17	1.00	24
26	15	40	18:32	25:07	1.01	28
27	15	40	14:28	29:01	1.11	27
28	15	40	09:33	20:11	-0.64	19
29	18	40	15:08	23:24	0.24	22
30	18	40	17:32	22:17	-0.81	16
<i>Min</i>	15	40	06:24	11:26	-1.29	16
<i>Max</i>	20	40	21:36	37:28	1.42	31
<i>Mean</i>	16.73	40	13:20	23:21	-0.11	21.77
<i>SD</i>	1.95	0.00	03:55	06:19	0.83	4.45

หมายเหตุ CAT-ACS หมายถึง การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอำนาจนิคมมต (ACS)

CT หมายถึง การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

จากตารางที่ 4-22 แสดงความยาวของแบบทดสอบ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ กับ การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่า การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มีความยาวของแบบทดสอบเฉลี่ย 16.73 ข้อ ในขณะที่การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์มีความยาวของแบบทดสอบ 40 ข้อ แสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอำนาจนิคมมต มีความยาวของแบบทดสอบคิดเป็นร้อยละ 41.83 ของการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ใช้เวลาในการทดสอบเฉลี่ย 13:20 นาที ขณะที่การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ใช้เวลาในการทดสอบเฉลี่ย 23:21 นาที แสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอำนาจนิคมมต ใช้เวลาในการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 56.87 ของการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) เฉลี่ยเท่ากับ -0.11 หมายความว่า ผู้สอบมีความสามารถโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบแบบ CAT แสดงในตารางที่ 4-23) เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ได้คะแนนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 21.77 หมายความว่า ผู้สอบมีความสามารถโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (เกณฑ์การประเมินความสามารถของผู้สอบ สำหรับ

การทดสอบแบบ CT แสดงในตารางที่ 4-24) แสดงให้เห็นว่า การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด ให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4-33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบกับคะแนนรวมของผู้สอบ

	CAT-ACS	CT
CAT-ACS	1	
CT	.837**	1

\*\* $p < .01$

จากตารางที่ 4-33 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่า ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดใหญ่ (.837) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 แสดงว่า ผลการทดสอบแบบ CAT-ACS มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบแบบ CT นั่นคือ ผู้สอบที่ได้รับค่าประมาณความสามารถจากการทดสอบแบบ CAT สูง (หรือต่ำ) จะได้คะแนนรวมจากการทดสอบแบบ CT สูง (หรือต่ำ) ด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อ 4

## บทที่ 5

### สรุปผลและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมา สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมา เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด และวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์ และการควบคุมการใช้ข้อสอบ พร้อมทั้งนำมาพัฒนาโปรแกรมการทดสอบความสามารถทางภาษาอังกฤษ การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่ 1) การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม 2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยศึกษาในสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โล ด้วยการจำลองค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ 10,000 ค่า และจำลองค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ 500 ค่า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่าความลำเอียงเฉลี่ย การวิเคราะห์ความแปรปรวน และ Kruskal-Wallis 3) การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมา สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี และ 4) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 ปีการศึกษา 2561 คณะการบิณ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ซึ่งคัดเลือกตัวอย่างแบบตามสะดวก จำนวน 30 คน โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

### สรุปผลการวิจัย

#### 1. ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม

การดำเนินการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีระบบอาณานิคม มี 3 ขั้นตอนดังนี้

1.1 แบ่งกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบตามค่าความยากของข้อสอบ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) ด้วยวิธี K-Means Clustering และเลือกข้อสอบข้อถัดไปตามกฎการเลือกข้อสอบเพื่อจัดเรียงบนโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม 6 ระดับ

1.2 ออกแบบกระบวนการของวิธีอาณานิคม โดยการจำลองผลการตอบข้อสอบเพื่อวัดความเหมาะสมของการเลือกข้อสอบข้อถัดไป ระหว่างกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคม โดยการจำลองผลการตอบข้อสอบจำนวน 6 ข้อต่อ TDT หนึ่งผัง ซึ่งการจำลองผลการตอบข้อสอบดังกล่าวจะใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่มี ความสามารถสูง ปานกลาง และต่ำจำนวนอย่างละ 5 ค่า ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 15 ค่า จากนั้นคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

ของค่าความสามารถที่แท้จริง และค่าความสามารถที่ได้จากการประมาณค่า เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินความเหมาะสมของข้อสอบแต่ละ TDT

1.3 เชื่อมโยงกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ให้สัมพันธ์กับวิธีระบบอานานิคมมดที่ออกแบบไว้ โดยดำเนินการนำขั้นตอนการพัฒนาขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ดังกล่าว ให้สามารถทำงานประสานกับกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ทั้ง 5 กระบวนการได้

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ทั้ง 3 วิธีได้แก่ วิธี MIC วิธี HC-Ex และวิธี ACS สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังนี้

ประสิทธิภาพด้านการประมาณความสามารถของผู้สอบ เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE ปรากฏว่า วิธี ACS มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี HC-Ex ส่วนวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความลำเอียงเฉลี่ย ปรากฏว่า วิธี ACS และ HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงสุดเทียบเท่ากัน ส่วนวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ ปรากฏว่า วิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC และวิธี ACS ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ปรากฏว่า วิธี ACS และ MIC มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนวิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพต่ำสุด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี ACS ซึ่งเป็นวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูงในด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ และด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แต่มีประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบต่ำกว่า วิธี MIC และวิธี HC-Ex ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าว เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.1 และเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 ข้อที่ 3 บางส่วน แต่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2

3. ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด

3.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับวัดความรู้ในรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ของนักศึกษาในระดับปริญญาตรี โดยพัฒนาอยู่ในรูปของ Web Application จึงสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์ทั่วไปที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งโปรแกรมออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกการทดสอบได้ 2 แบบ คือ 1) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (CAT-ACS) และ 2) การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (CT) ซึ่งโปรแกรมแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin) 2) ส่วนของผู้สอบ (User) ส่วนที่ 1 ผู้ดูแลระบบ จะประกอบด้วยเมนูการใช้งานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผู้สอบ และการจัดการแบบทดสอบ ส่วนที่ 2 ผู้สอบ จะประกอบด้วยเมนูการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับ การทำแบบทดสอบ และการรายงานผลการทดสอบ เมื่อผู้สอบทำการทดสอบเสร็จสิ้น

3.2 ผลการประเมินโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แบ่งได้ 2 ส่วน คือ 1) ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ปรากฏว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งในด้าน ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม การทำงานของโปรแกรม การใช้งานของโปรแกรม ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลโปรแกรม และความชัดเจนของคู่มือการ

ใช้โปรแกรม 2) ผลการประเมินโดยผู้สอบ ปรากฏว่า โปรแกรมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งในด้านความสะดวกในการใช้โปรแกรม และด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม

4. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน

4.1 การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (CAT-ACS) กลุ่มตัวอย่างใช้เวลาในการทดสอบเฉลี่ย 13:20 นาที ใช้ข้อสอบเฉลี่ย 16.73 ข้อ และมีค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) เฉลี่ย -0.11 ส่วนการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (CT) กลุ่มตัวอย่างใช้เวลาในการทดสอบเฉลี่ย 23:21 นาที ใช้ข้อสอบ 40 ข้อ และมีคะแนนรวมของผู้สอบเฉลี่ย 21.77 ข้อ แสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ใช้เวลาและจำนวนข้อสอบลดลง เมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่า ผลการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์มีความสัมพันธ์เชิงบวก ขนาดสูง (.837) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 4

## อภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัย แบ่งได้ 4 ประเด็น ได้แก่ 1) การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม 2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป 3) การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม และ 4) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

### 1. การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Adaptive Testing: CAT) เป็นการทดสอบที่มีการจัดข้อสอบให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบ ซึ่งพิจารณาจากผลการตอบข้อสอบในทุกข้อที่ผ่านมา กล่าวคือ เมื่อผู้สอบทำข้อสอบข้อแรกหรือชุดเริ่มต้นเสร็จลง จะนำผลการตอบมาวิเคราะห์ระดับความสามารถของผู้สอบ เพื่อใช้คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีความเหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบ โดยใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT) เป็นพื้นฐาน ขั้นตอนการทดสอบแบบ CAT มี 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การสร้างคลังข้อสอบ (Create Item Bank) เป็นการจัดทำข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งต้องสอดคล้องกับทฤษฎี IRT ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกข้อสอบข้อแรก (First Item Selection) เป็นการคัดเลือกข้อสอบข้อแรก โดยส่วนใหญ่ใช้ข้อสอบที่มีค่าความยากของข้อสอบระดับปานกลาง ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (Next Item Selection) โดยคัดเลือกข้อสอบให้มีความเหมาะสมกับ

ระดับความสามารถของผู้สอบ ซึ่งพิจารณาจากผลการตอบข้อสอบในทุกข้อที่ผ่านมา ขั้นตอนที่ 4 การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (Calculate Possible Ability Level) โดยอาศัยผลการตอบข้อสอบในทุกข้อที่ผ่านมา และขั้นตอนที่ 5 เกณฑ์ยุติการทดสอบ (Termination Criterion) เป็นการกำหนดเกณฑ์สิ้นสุดการทดสอบ โดยการทดสอบจะดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 5 จนกระทั่งการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ยุติการทดสอบที่กำหนดไว้

การเลือกข้อสอบข้อถัดไปนับว่าเป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Phankokkrud & Woraratpanya, 2012) โดยมีจุดมุ่งหมายของการเลือกข้อสอบเพื่อให้ความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบมากที่สุด รวมถึงรักษาความปลอดภัยของข้อสอบหากใช้วิธีในการเลือกข้อสอบที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะส่งผลให้ได้ข้อสอบที่ใช้ทดสอบไม่เหมาะกับระดับความสามารถของผู้สอบอย่างแท้จริงเกิดความคลาดเคลื่อนของความสามารถของผู้สอบสูงทำให้ใช้จำนวนข้อสอบและเวลาในการทดสอบมากขึ้น (Reckase, 2009) นอกจากนี้ยังส่งผลในเรื่องของการเลือกข้อสอบมาใช้ทดสอบซ้ำมากเกินไปและข้อสอบในคลังข้อสอบไม่ถูกเลือกมาใช้ทดสอบ เหตุการณ์ดังกล่าวย่อมเป็นอุปสรรคต่อการประมาณค่าระดับความสามารถของผู้สอบให้ตรงกับความเป็นจริง ดังนั้นประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบจึงส่งผลในลักษณะแปรผันโดยตรงกับประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังกล่าวจะดำเนินการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการคัดเลือกข้อสอบให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน โดยอาศัยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory-IRT) มาใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณค่าสารสนเทศในรูปแบบต่าง ๆ ของข้อสอบ โดยอาศัยหลักการที่ว่าถ้าหากผู้สอบทำข้อสอบข้อที่ผ่านมาถูกต้องคอมพิวเตอร์จะต้องเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ยากขึ้น แต่ถ้าหากผู้สอบทำข้อสอบข้อที่ผ่านมาผิด คอมพิวเตอร์จะต้องเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ง่ายลง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่นิยมพัฒนา คือการสร้างสมการในรูปแบบ Deterministic เพื่อใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้น ไปกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ข้อจำกัดของวิธีการเลือกข้อสอบในลักษณะดังกล่าว คือสมการที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เลือกข้อสอบข้อถัดไป ขาดความยืดหยุ่นต่อปัญหาการเลือกข้อสอบ เนื่องจากวิธีการได้ระบุทิศทางการค้นหาคำตอบไว้ตายตัว กระบวนการไม่มีโอกาสค้นหาคำตอบใหม่ๆ หรือไม่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างครอบคลุม ทำให้เสียโอกาสที่จะพบคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมกว่า ส่งผลให้เกิดปัญหาการเลือกข้อสอบไม่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ และปัญหาอัตราการใช้ข้อสอบซ้ำหรือถูกใช้บ่อยเกินไป รวมถึงปัญหาข้อสอบในคลังข้อสอบไม่ถูกเลือกนำมาใช้ทดสอบ

การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอนุมานิคมมตที่น่าเสนอ เป็นวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปในกลุ่มที่ใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ประเภทการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นวิธีที่มีกระบวนการออกแบบให้ระบบสามารถคิดวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้เองอย่างอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ได้อย่างครอบคลุม (Blum & Roli, 2003) ผวนกับปัญหาการเลือกข้อสอบข้อถัดไปคือปัญหาที่อยู่ในลักษณะของการค้นหากลุ่มข้อสอบที่ตรงกับความสามารถหรือมีความเหมาะสมกับผู้สอบเพื่อให้ผู้สอบใช้ในการทดสอบ ดังนั้นการนำวิธีระบบอนุมานิคมมต มาออกแบบประยุกต์กับการ

เลือกข้อสอบข้อถัดไป ของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์อาจส่งผลให้การเลือกข้อสอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธีระบบอาณานิคมมดได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการประยุกต์กับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของการเดินทาง (Traveling Salesman Problem: TPS) (Dorigo & Stutzle, 2004, pp.65) การที่จะนำวิธีระบบอาณานิคมมดดังกล่าวมาประยุกต์กับการเลือกข้อสอบข้อถัดไปในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้น ไม่สามารถนำวิธี ACS ไปประยุกต์ใช้งานได้ทันทีแบบสำเร็จรูป ผู้วิจัยจะต้องใส่แนวคิดต้นฉบับ (Original Idea) ในการออกแบบเงื่อนไขกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้วิธีดังกล่าวสามารถเลือกข้อสอบให้กับผู้เข้าสอบได้อย่างเหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบได้อย่างถูกต้องแม่นยำซึ่งได้นำเสนอแล้วในข้อ 1 จากผลการวิจัยทั้งหมดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกแบบกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด ที่สามารถเลือกข้อสอบข้อถัดไปได้กระจายครอบคลุมไปตามกลุ่มความยากต่าง ๆ ของข้อสอบให้ได้มากที่สุด โดยอิงตามระดับความสามารถของผู้สอบก่อนที่จะหยุดการทดสอบ รวมถึงข้อสอบทุกข้อได้ถูกเลือกเพื่อจัดวางในตำแหน่ง TDT ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้การเลือกข้อสอบยังไม่กระจุกตัวอยู่เพียงกลุ่มความยากใดกลุ่มความยากหนึ่ง หรือมีทิศทางในการเลือกข้อสอบที่ตายตัว จึงทำให้ข้อสอบที่ผู้สอบได้รับมีความเหมาะสมต่อระดับความสามารถของผู้สอบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะของคอมพิวเตอร์สามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ใกล้เคียงกับความสามารถของผู้สอบ โดยใช้จำนวนข้อสอบที่ใช้ทดสอบจำนวนน้อยได้โดยไม่ลดประสิทธิภาพของการทดสอบลง และไม่พบปัญหาการนำข้อสอบแต่ละข้อไปใช้ทดสอบมากเกินไปกว่าอัตราการใช้ข้อสอบ 0.1

## 2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ดำเนินการโดยศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (วิธี MIC) 2) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์ และมีการควบคุมการใช้ข้อสอบ (วิธี HC-Ex) และ 3) วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้าน 1) การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ 2) ความยาวของแบบทดสอบ และ 3) จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 โดยแบ่งการอภิปรายผลการวิจัยเป็น 3 ประเด็นย่อย ดังนี้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ

เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE ปรากฏว่า วิธี ACS มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี HC-Ex และวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อ 1.1 แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความลำเอียงเฉลี่ย ปรากฏว่า วิธี HC-Ex และ ACS มีประสิทธิภาพสูงสุดเทียบเท่ากัน ส่วนวิธี MIC มีประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.2 บางส่วน แสดงให้เห็นว่า วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ ได้แก่ วิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการ MIC ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจาก วิธี HC-Ex ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ ควบคุมกับทฤษฎี IRT ซึ่งทฤษฎีการตัดสินใจจะคำนวณผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับของทุก

ทางเลือก แล้วตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด เมื่อนำหลักการนี้มาใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป วิธี HC-Ex จึงคำนวณค่า SEE ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เมื่อผู้สอบทำข้อสอบแต่ละข้อในคลังข้อสอบ โดยคำนวณค่า SEE ทั้งกรณีที่ถูกตอบถูก และกรณีที่ผู้สอบตอบผิด แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่า SEE และตัดสินใจเลือกข้อสอบที่มีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่า SEE ต่ำสุด เป็นข้อสอบข้อถัดไป (ประพนธ์ เปรมทองสุข และคณะ, 2560) ด้วยกระบวนการนี้ ข้อสอบข้อถัดไปที่ผู้สอบได้รับจึงเป็นข้อสอบที่มีค่า SEE ต่ำสุด ประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ จึงสูงกว่าวิธีการ MIC ที่พิจารณาเพียงค่าสารสนเทศสูงสุด ณ ความสามารถที่ตรงหรือใกล้เคียงกับค่าความสามารถของผู้สอบ ณ ขณะนั้น (Birbaum, 1968 cited in van der Linden & Glas, 2002, pp. 9-10)

เมื่อพิจารณาวิธี ACS ซึ่งเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ประเภทการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นวิธีที่มีกระบวนการออกแบบให้ระบบสามารถคิดวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้เองอย่างอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ได้อย่างครอบคลุม (Blum & Roli, 2003) ทำให้กระบวนการมีโอกาสค้นหาคำตอบใหม่ๆ ส่งผลให้เพิ่มโอกาสที่จะพบคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมกว่า นอกจากนี้การออกแบบวิธีการวัดความเหมาะสมของการเลือกข้อสอบ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอกระบวนการ Partial Testing ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความเหมาะสมบางส่วน โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของค่าความสามารถที่แท้จริง และค่าความสามารถที่ได้จากการประมาณของแต่ละชุดข้อสอบที่ถูกเลือกใช้ในการทดสอบ ในขณะที่ วิธี MIC และวิธี HC-Ex เป็นวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้หลักการสร้างสมการในรูปแบบ Deterministic โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้น ไปกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ข้อจำกัดของวิธีการเลือกข้อสอบในลักษณะดังกล่าว คือสมการที่สร้างขึ้นขาดความยืดหยุ่นต่อปัญหาการเลือกข้อสอบ เนื่องจากวิธีการได้ระบุทิศทางในการค้นหาคำตอบไว้ตายตัว กระบวนการไม่มีโอกาสค้นหาคำตอบใหม่ๆ หรือไม่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างครอบคลุม ทำให้เสียโอกาสที่จะพบคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมกว่า อาจส่งผลให้การเลือกข้อสอบไม่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบ จากผลการวิจัยที่ระบุไว้ข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธี ACS ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า วิธี MIC และ HC-Ex

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความยาวของแบบทดสอบ ปรากฏว่า วิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่ วิธี MIC และวิธี ACS ตามลำดับ ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2 แสดงให้เห็นว่า วิธีการ ACS ที่พัฒนาขึ้น ใช้ข้อสอบในการทดสอบจำนวนมากกว่าวิธี MIC และวิธี HC-Ex เนื่องจาก วิธี ACS มีการออกแบบการเลือกข้อสอบข้อถัดไป ให้มีโอกาสเลือกข้อสอบได้กระจายไปทุกกลุ่มความยากของข้อสอบที่ใช้ทดสอบทั้ง 5 กลุ่ม ก่อนที่จะยุติการทดสอบ ซึ่งการเลือกข้อสอบดังกล่าวจะกระจายไปยังความยากข้อสอบสูงสุดหรือต่ำสุดในกลุ่มใด ขึ้นอยู่กับระดับความสามารถในการทำแบบทดสอบของผู้สอบ ซึ่งการยุติการทดสอบจะต้องตรวจสอบเกณฑ์การยุติการทดสอบจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 2 กรณีพร้อมกัน ดังนี้ 1) กรณีที่ทำข้อสอบครบอย่างน้อย 15 ข้อ จากเหตุการณ์ดังนี้ (1) เมื่อทำข้อสอบแต่ละชุดแล้วผลลัพธ์ที่ได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มความยากของข้อสอบมากขึ้นหรือง่ายลงเรื่อย ๆ ไปจนหมดกลุ่มข้อสอบทั้ง 5 กลุ่ม (2) ทำข้อสอบแล้วยังวนทำอยู่กลุ่มความยากเดิม ก็ให้ยุติการทดสอบ 2) กรณีที่ทำข้อสอบแต่ละชุดแล้วผลลัพธ์ที่ได้



ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนกลุ่มคั้งที่หรือขึ้น ๆ ลง ๆ สลับไปมาก็จะใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของค่าความสามารถที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในการยุติการทดสอบ โดยเลือกใช้เกณฑ์ที่ค่า SEE น้อยกว่า 0.30 ซึ่งการออกแบบการเลือกข้อสอบตามแนวคิดที่กล่าวข้างต้นอยู่ภายใต้หลักการว่า ผู้สอบควรมีโอกาสได้ทำข้อสอบทุกกลุ่มความยาก ก่อนที่จะยุติการทดสอบ หากผู้สอบได้ทำข้อสอบกระจุกตัวอยู่บางกลุ่มความยากแล้วยุติการทดสอบ จะส่งผลให้การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบมีความคลาดเคลื่อนสูง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ปรากฏว่า วิธี ACS และวิธี MIC มีประสิทธิภาพสูงสุดเทียบเท่ากัน ส่วนวิธี HC-Ex มีประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 3 บางส่วน ถึงแม้ผลลัพธ์จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ จะแสดงว่าวิธี ACS และวิธี MIC มีประสิทธิภาพสูงสุดไม่แตกต่างกันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลผลการใช้ข้อสอบสำหรับทดสอบของวิธี MIC พบว่าข้อสอบถูกเลือกใช้อย่างกระจุกตัว และมีบางรอบของการทดลองพบข้อสอบบางข้อที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 แสดงให้เห็นว่าวิธีการ ACS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถควบคุมข้อสอบไม่ให้มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ได้ เนื่องจาก วิธี ACS มีการออกแบบการเลือกข้อสอบข้อถัดไป ให้ข้อสอบทุกข้อในทุกกลุ่มความยากมีโอกาสถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งใช้หลักของกระบวนการ ACS ผนวกกับการจัดวางข้อสอบที่ใช้ทดสอบบนโครงสร้างข้อมูลประเภทต้นไม้ตัดสินใจแบบสามเหลี่ยม (TDT) 6 ระดับ และการกำหนดการเปลี่ยนกลุ่มความยากของข้อสอบให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระดับความสามารถของผู้สอบ จะพิจารณาจากการทำข้อสอบข้อสุดท้ายของชุดข้อสอบแต่ละ TDT ซึ่งหลักการดังกล่าวส่งผลให้ข้อสอบในคลังข้อสอบทุกข้อถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบ และอัตราการใช้ข้อสอบทุกข้อไม่เกิน 0.20

### 3. การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ เป็นโปรแกรมสำหรับวัดความรู้ในรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี มีลักษณะเป็น Web Application จึงสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์ทั่วไปที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งโปรแกรมสามารถเลือกการทดสอบได้ 2 แบบ คือ 1) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการทดสอบที่ผู้สอบแต่ละคนจะได้ข้อสอบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สอบ และ 2) การทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการทดสอบที่ผู้สอบทุกคนจะได้ข้อสอบข้อเดียวกัน และมีจำนวนข้อสอบเท่ากัน

โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ในแต่ละขั้นตอนมีจุดเด่นดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การสร้างคลังข้อสอบ ได้ดำเนินการแบ่งกลุ่มข้อสอบในคลังข้อสอบตามค่าความยากของข้อสอบเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ ดังนี้ 1) ง่ายมาก (Very Easy) 2) ง่าย (Easy) 3) ปานกลาง (Medium) 4) ยาก (Hard) และ 5) ยากมาก (Very Hard) (Karahora & Ince, 2009) สามารถนำข้อสอบในคลังข้อสอบไปจัดชุดแบบทดสอบเพื่อใช้ทดสอบได้ โปรแกรมนี้รองรับข้อสอบที่มีลักษณะการตรวจให้คะแนน 2 ค่า คือ ถูก-ผิด หรือ 0-1 และมีรายการคำตอบอย่างน้อย 4 รายการ จึงสามารถนำโปรแกรมไปปรับใช้วัดความรู้ทางการศึกษาในรายวิชาอื่นได้ ที่ข้อสอบมีลักษณะเดียวกัน ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกข้อสอบข้อแรก จะดำเนินการโดยวิธีระบบอาณานิคมมดที่

ใช้กลุ่มความยากข้อสอบระดับปานกลาง ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป เลือกใช้วิธีระบบอาณานิคมมด ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ สามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้แม่นยำ และลดจำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบมากกว่า 0.20 ได้ ขั้นตอนที่ 4 การประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ เลือกใช้วิธีของเบส์แบบปรับใหม่ (Bayesian Updating) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีที่สามารถคำนวณประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ ในกรณีที่ผู้สอบตอบถูกทุกข้อ หรือตอบผิดทุกข้อ ซึ่งวิธีการอื่นไม่สามารถคำนวณค่าได้ และขั้นตอนที่ 5 เกณฑ์ยุติการทดสอบ จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 2 กรณีพร้อมกัน ดังนี้ 1) ทำข้อสอบครบอย่างน้อย 15 ข้อ และเลือกใช้เกณฑ์ที่ค่า SEE น้อยกว่า 0.30 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือ และลดความยาวของแบบทดสอบได้มาก (Wainer et al., 2000, pp. 105-113)

การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่ใช้ในโปรแกรมนี้ นอกจากต้องคำนึงถึงการควบคุมการใช้ข้อสอบ ยังต้องคำนึงถึงการควบคุมสัดส่วนเนื้อหาของข้อสอบ (Content Balancing) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้สอบได้รับข้อสอบที่มีเนื้อหา (หัวข้อเรื่อง) ด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งมีเนื้อหาในการเรียนที่หลากหลาย ซึ่งในโปรแกรมนี้วิธีการควบคุมสัดส่วนเนื้อหาของข้อสอบ (Content Balancing Control) ผู้วิจัยได้ปรับปรุงจากวิธี 5-4-3-2-1 ซึ่งเป็นวิธีที่เสนอโดย McBride and Martin (1983) มีขั้นตอนดังนี้ 1) กำหนดให้ข้อสอบทุกระดับความยากประกอบไปด้วยทุกเนื้อหาของข้อสอบ 2) ทุกครั้งที่เลือกข้อสอบจัดวางลงบนโครงสร้างข้อมูลแบบ Triangle Decision Tree ในแต่ละระดับชั้น จะต้องทำการสุ่มเนื้อหาของข้อสอบก่อนเสมอ จากนั้นจึงทำการเลือกข้อสอบข้อที่เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบเป็นลำดับต่อไป ซึ่งการสุ่มเนื้อหาของข้อสอบดังกล่าวจะเป็นการสุ่มแบบไม่คืนค่ากลับ การสุ่มจะดำเนินการไปจนครบจำนวนเนื้อหาของข้อสอบที่มีทั้งหมด จากนั้นจึงเริ่มนำเนื้อหาของข้อสอบทั้งหมดกลับมาสุ่มแบบไม่คืนค่ากลับคืนใหม่ จนกว่าจะหยุดการทดสอบ จากกระบวนการออกแบบที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจึงส่งผลให้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ มีประสิทธิภาพในการทดสอบสูงเมื่อนำไปใช้งานจริง

4. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปได้พัฒนาขึ้นกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปได้พัฒนาขึ้นกับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ข้อสอบคงที่ จำนวน 40 ข้อ ปรากฏว่า เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อ 4 นั่นคือ ผลการทดสอบทั้งสองแบบมีความสัมพันธ์เชิงบวก ขนาดสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ให้ผลลัพธ์ในการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ที่ศึกษาได้ มีขนาดสูง นั้นเป็นผลมาจากกระบวนการออกแบบวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดที่ใช้ในโปรแกรม สามารถเลือกข้อสอบข้อถัดไปได้กระจายครอบคลุมไปตามกลุ่มความยากต่าง ๆ ของข้อสอบโดยสัมพันธ์กับระดับความสามารถของผู้สอบ นอกจากนี้การเลือกข้อสอบยังไม่กระจุกตัวอยู่เพียงกลุ่มความยากใดกลุ่มความยากหนึ่ง หรือมีทิศทางการเลือกข้อสอบที่

ตายตัว จึงทำให้ข้อสอบที่ผู้สอบได้รับมีความเหมาะสมต่อระดับความสามารถของผู้สอบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทดสอบแบบปรับเหมาะของคอมพิวเตอร์สามารถประมาณค่าความสามารถของผู้สอบได้ใกล้เคียงกับความสามารถของผู้สอบ โดยใช้จำนวนข้อสอบที่ใช้ทดสอบจำนวนน้อยได้โดยไม่ลดประสิทธิภาพของการทดสอบลง

### ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้ที่สนใจพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถนำวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมที่ออกแบบไว้ ไปประยุกต์ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบรายวิชาต่าง ๆ ได้
2. ครู อาจารย์ หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดการสอบ สามารถนำโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ที่ได้จากการวิจัยนี้ ไปใช้วัดความสามารถทางภาษาอังกฤษ ในระดับปริญญาตรี หรือนำไปประยุกต์กับการวัดผลการศึกษาในรายวิชาอื่นได้ เนื่องจากโปรแกรมได้ออกแบบรองรับการเพิ่มข้อสอบเพื่อทดสอบรายวิชาอื่น ๆ ไว้แล้ว

### ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรนำเทคนิคต่าง ๆ ทางด้านปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์กับกระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ในขั้นตอนอื่น ๆ เช่น การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในการจัดข้อสอบในคลังข้อสอบ เป็นต้น
2. การออกแบบปัจจัยที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบสำหรับการวัดความเหมาะสมของการเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม สามารถค้นคว้าหาปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากที่เสนอในการวิจัยนี้ได้
3. การพัฒนาวิธีการเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถนำเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ประเภทการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในกลุ่มการหาค่าความเหมาะสมของปัญหา (Optimization) มาออกแบบประยุกต์ในการวิจัยอื่นได้
4. โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ ยังไม่รองรับการนำข้อสอบเข้ามาในโปรแกรมด้วยวิธี Import ไฟล์ข้อสอบ ดังนั้นควรพัฒนาโปรแกรมให้รองรับการ Import ไฟล์ข้อสอบด้วย

## บรรณานุกรม

- ประพล เปรมทองสุข, เสรี ชัดแจ่ม และปิยะทิพย์ ประดุงพรม. (2560). การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอร์วิคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบ สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์. *Veridian E-Journal*, 4(6), 32-50.
- โสฬส สุขานนท์สวัสดิ์, เสรี ชัดแจ่ม และกฤษณะ ชินสาร. (2556). การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 10(2), 71-85.
- Koedsri, A., Lawthong, N., & Ngudgratoke, S. (2014). Efficiency of Item Selection Method in Variable-length Computerized Adaptive Testing for the Testlet Response Model: Constraint-weighted A-stratification Method. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16(3), 1890-1895.
- Barrada, J. R., Abad, F. J., & Olea, J. (2011). Varying the valuating function and the presentable bank in computerized adaptive testing. *The Spanish Journal of Psychology*, 14(1), 500-508.
- Chang, H. H., & Ying, Z. (2008). A-stratified multistage computerized adaptive testing. *Applied Psychological Measurement*, 23(3), 211-222.
- Chen, S. Y., & Ankenman, R. D. (2004). Effects of practical constraints on item selection rules at the early stages of computerized adaptive testing. *Journal of Educational Measurement*, 41(2), 149-174.
- Chen, S. Y., Ankenmann, R. D., & Spray, J. A. (2009). The relationship between item exposure and test overlap in computerized adaptive testing. *Journal of Educational Measurement*, 45(2), 129-145.
- Chen, C. M., Lee, H. M., & Chen, Y. H. (2005). Personalized e-learning system using item response theory. *Computers & Education*, 44(3), 237-255.
- Han, K. T. (2007). WinGen: Windows software that generates IRT parameters and item responses. *Applied Psychological Measurement*, 31(5), 457-459.
- Yung-Chin, Y., Ho, R. G., Wen-Wei, L., & Li-Ju, C. (2012). Reducing the impact of inappropriate items on reviewable computerized adaptive testing. *Journal of Educational Technology & Society*, 15(2), 231-242.
- Thompson, N. A., & Weiss, D. J. (2011). A framework for the development of computerized adaptive tests. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 16(1), 1-9.
- Weiss, D. J. (2011). Better Data from Better Measurements Using Computerized Adaptive Testing. *Journal of Methods and Measurement in the Social Sciences*, 2(1), 1-27.

- Kaveh, A., Azar, B. F., & Talatahari, S. (2008). Ant colony optimization for design of space trusses. *International Journal of Space Structures*, 23(3), 167-181.
- Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Colomi. (1996). The ant system: Optimization by a colony of cooperating agent. *IEEE Trans. On System*, 22(2), 340-349.
- Wang, C., Chang, H. H., & Huebner, A. (2011). Restrictive stochastic item selection methods in cognitive diagnostic computerized adaptive testing. *Journal of Educational Measurement*, 48(3), 255-273.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colomi, A. (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26(1), 29-41.
- McBride, J. R., & Martin, J. T. (1983). Reliability and validity of adaptive ability tests in a military setting. *New horizons in Testing*, 16(2), 223-226.
- Liley, M., Barker, T., & Britton, C. (2004). The development and evaluation of a software prototype for computerized-adaptive testing. *Computers & Education*, 43(43), 109-123.
- Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28-39.
- Dorigo, M., & Stutzle, T. (2003). The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, applications, and advances. *International Series in Operations Research and Management Science*, 12(3), 251-286.
- Phankokkrud, M., & Woraratpanya, K. (2012). Item Classification Algorithm for Computer Adaptive Testing Based on Web Services. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(1), 835-847.
- Phankokkrud, M., & Woraratpanya, K. (2008). An automated decision system for computer adaptive testing using genetic algorithms. In *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2008. SNPD'08. Ninth ACIS International Conference on* (pp. 655-660). IEEE.
- Reckase, M. (2009). *Multidimensional item response theory* (Vol. 150). New York: Springer.
- Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28-39.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2010). *Ant colony optimization: overview and recent advances*. In *Handbook of Metaheuristics*. New York: Springer.
- Sun, Z. (2010). Path optimization wireless sensor network based on ant colony algorithm. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(1), 2086-2093.

- Phankokkrud, M. (2012). Association rules for data mining in item classification algorithm: Web service approach. In *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), 2012 Second International Conference on* (pp. 463-468). IEEE.
- Deepa, O., & Senthilkumar, A. (2016). Swarm intelligence from natural to artificial systems: Ant colony optimization. *Networks (GRAPH-HOC)*, 8(1), 9-16.
- Kalayci, C. B., & Kaya, C. (2016). An ant colony system empowered variable neighborhood search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert Systems with Applications*, 66(4), 163-175.
- Wu, W., Tian, Y., & Jin, T. (2016). A label based ant colony algorithm for heterogeneous vehicle routing with mixed backhaul. *Applied Soft Computing*, 47(1), 224-234.
- De Ayala, R. J. (2013). *The theory and practice of item response theory*. London: The Guilford Press.
- Ma, S., Li, X., & Cai, Y. (2017). Delimiting the urban growth boundaries with a modified ant colony optimization model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62(2), 146-155.
- Sweetlin, J. D., Nehemiah, H. K., & Kannan, A. (2017). Computer aided diagnosis of pulmonary hamartoma from CT scan images using ant colony optimization based feature selection. *Alexandria Engineering Journal*, 15(3), 1-11.
- Chaimongkol, N., Pasiphol, S., & Kanjanawasee, S. (2016). Computerized Adaptive Testing with Reflective Feedback: A Conceptual Framework. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21(7), 806-812.
- van der Linden, W. J., & Glas, G. A. W. (2002). *Computerized Adaptive Testing: Theory and Practice*. New York: Kluwer Academic.
- Wainer, H., Dorans, N. J., Flaugher, R., Green, B. F., & Mislevy, R. J. (2000). *Computerized Adaptive Testing: A Primer* (2<sup>nd</sup> ed.). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Belov, D. I., Armstrong, R. D., & Weissman, A. (2008). A Monte Carlo Approach for Adaptive Testing with Content Constraints. *Applied Psychological Measurement*, 32(6), 431-446.
- Cheng, Y., & Chang, H. H. (2009). The maximum priority index method for severely constrained item selection in computerized adaptive testing. *Br J Math Stat Psychol*, 62(2), 369-383.

- Cheng, Y., Chang, H. H., Douglas, J., & Guo, F. (2009). Constraint-Weighted a-Stratification for Computerized Adaptive Testing with Nonstatistical Constraints. *Educational and Psychological Measurement, 69*(1), 35-49.
- Hau, K. T., & Chang, H. H. (2001). Item Selection in Computerized Adaptive Testing: Should More Discriminating Item be Used First. *Journal of Educational Measurement, 38*(3), 249-266.
- Leung, C. K., Chang, H. H., & Hau, K. T. (2002). Item Selection in Computerized Adaptive Testing: Improving the a-Stratified Design with the Sympton-Heter Algorithm. *Applied Psychological Measurement, 26*(4), 376-392.
- Leung, C. K., Chang, H. H., & Hau, K. T. (2003). Incorporation of Content Balancing Requirements in Stratification Designs for Computerized Adaptive Testing. *Educational and Psychological Measurement, 63*(2), 257-270.
- Yan, D., von Davier, A. A., & Lewis, C. (2014). *Computerized Multistage Testing: Theory and Applications*. New Jersey: CRC Press.
- Ozturk, N. B., & Dogan, N. (2015). Investigating Item Exposure Control Methods in Computerized Adaptive Testing. *Educational Sciences: Theory & Practice, 15*(1), 85-98.
- McBride, J. R., & Martin, J. T. (1983). Reliability and validity of adaptive ability tests in a military setting. In D. J. Weiss (Ed.), *New horizons in testing: Latent trait test theory and computerized adaptive testing* (pp. 223-226). New York: Academic Press.
- Frenkel, D. (2004). Introduction to Monte Carlo Methods. *NIC Series, 23*(2), 29-60.
- Gao, F., & Chen, L. (2005). Bayesian or Non-Bayesian: A Comparison Study of Item Parameter Estimation in the Three-Parameter Logistic Model. *Applied Measurement in Education, 18*(4), 351-380.
- Harwell, M., Stone, C. A., Hsu, T. C., & Kirisci, L. (1996). Monte Carlo Studies in Item Response Theory. *Applied Psychological Measurement, 20*(2), 101-125.
- Han, K. T. (2007). WinGen: Windows software that generates IRT parameters and item responses. *Applied Psychological Measurement, 31*(5), 457-459.
- Yoes, M. (1997). *PARDSIM (Computer software)*. Minnesota: Assessment Systems Corporation.
- Weiss, D. J., & Guyer, R. (2012). *Manual for CATSim: Comprehensive simulation of computerized adaptive testing*. Minnesota: Assessment Systems Corporation.

- Lilley, M., Barker, T., & Britton, C. (2004). The development and evaluation of a software prototype for computer-adaptive testing. *Computers & Education, 43*(3), 109-123.
- Harwell, M., Stone, C. A., Hsu, T. C., & Kirisci, L. (1996). Monte Carlo Studies in Item Response Theory. *Applied Psychological Measurement, 20*(2), 101-125.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

### รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญสำหรับการประเมินโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมดมีดังนี้

- 1) อาจารย์ ดร.ดวงเพ็ญ เจตน์พิพัฒนพงษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- 2) อาจารย์อารีญา ศรีประเสริฐ ผู้อำนวยการสำนักสารสนเทศ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
- 3) อาจารย์ธีรวัช สุขวิสัยศิริญ รองหัวหน้าฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ ศูนย์วิจัยการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ภาคผนวก ข  
ผลการศึกษาในสถานการณ์จำลอง  
การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

- ตาราง ข1. ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 1 ค่าประมาณความสามารถของ  
ผู้สอบ และความยาวของแบบทดสอบของการศึกษาในสถานการณ์จำลอง  
การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์
- ข2. การคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
- ข3. การคำนวณค่าความลำเอียงเฉลี่ย

### ผลการศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ ข1 ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบชุดที่ 1 ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ  
และความยาวของแบบทดสอบ ที่ได้จากการศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบ  
แบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\theta$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
1	0.552	0.609	0.235	0.536	6	6	16
2	0.151	0.558	0.361	0.146	11	11	15
3	-0.280	-0.314	-0.407	-0.210	9	12	17
4	0.003	0.074	0.179	0.001	13	11	18
5	-0.785	-0.666	-1.115	-0.760	9	10	19
6	-1.377	-1.118	-1.070	-1.211	15	8	17
7	-0.115	-0.508	-0.412	-0.106	9	10	16
8	-0.255	0.055	-0.678	-0.269	11	8	15
9	-0.429	-0.637	0.136	-0.410	13	8	15
10	-1.564	-0.204	-0.793	-1.495	17	6	18
11	-1.932	-0.714	-1.733	-1.902	13	11	18
12	2.336	1.667	1.946	2.284	12	15	15
13	0.204	0.180	0.191	0.220	11	9	15
14	0.114	0.332	0.212	0.105	11	11	15
15	0.854	1.372	0.645	0.866	11	11	15
16	0.560	0.577	0.549	0.600	6	14	15
17	-0.016	-0.393	-0.214	-0.026	12	7	15
18	0.808	0.430	0.911	0.811	10	8	19
19	-0.605	-0.396	-0.735	-0.611	11	8	16
20	0.783	-0.354	0.870	0.770	9	5	17
21	-2.145	-1.510	-1.621	-2.130	9	8	15
22	1.210	1.738	1.210	1.140	7	12	18
23	0.157	0.485	0.427	0.153	9	9	17
24	0.243	-0.160	-0.105	0.260	11	15	16
25	-0.734	-0.936	-0.778	-0.740	8	8	17
26	-1.079	-0.744	-0.977	-1.077	16	7	18
27	-0.742	-0.616	-0.895	-0.752	9	16	18
28	4.255	3.709	1.798	3.978	30	23	17
29	-0.653	-0.431	-1.096	-0.643	9	7	19
30	-0.903	-0.578	-0.855	-0.910	7	12	19
31	-0.126	-0.230	-0.284	-0.120	12	10	16
32	1.821	2.161	1.712	1.796	14	8	19
33	2.285	2.676	1.953	2.290	18	14	18
34	-0.060	1.183	0.403	-0.100	7	9	19
35	-0.533	-0.483	0.120	-0.530	11	13	17
36	-0.979	-1.091	-1.238	0.982	16	7	16
37	0.172	-0.349	-0.090	0.176	9	11	17
38	-1.715	-1.859	-1.908	0.536	12	11	15
39	0.056	0.854	-0.539	0.146	13	11	16

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
40	0.352	0.964	0.329	0.372	7	7	15
41	0.265	-0.063	0.136	0.229	8	8	15
42	1.412	0.410	1.663	1.393	12	14	16
43	-1.190	0.216	0.201	-1.440	13	11	19
44	-1.174	-1.321	-1.231	-1.176	8	8	15
45	-1.093	-1.258	-0.970	-1.080	11	8	18
46	-0.073	-0.216	-0.617	-0.064	12	7	16
47	0.240	0.761	0.170	0.270	10	10	19
48	-1.422	-1.759	-1.456	-1.503	15	8	17
49	0.110	-0.218	0.689	0.070	13	12	18
50	0.560	1.766	0.433	0.460	12	10	19
51	-0.039	-0.363	-0.042	-0.330	13	10	17
52	0.207	-0.398	0.189	0.218	12	7	19
53	-0.107	-0.215	0.041	-0.143	11	5	18
54	-1.670	-0.968	-1.444	-1.800	14	10	15
55	-1.559	-1.137	-1.748	-1.550	8	9	15
56	-1.487	-0.371	-1.354	-1.445	12	7	15
57	-1.250	0.269	-1.319	-1.460	10	13	15
58	1.238	1.005	0.631	1.193	9	10	15
59	-0.543	-0.334	-0.619	-0.530	9	10	15
60	1.388	1.713	1.388	1.406	15	10	15
61	0.620	0.845	0.331	0.960	13	8	19
62	-0.225	0.263	-0.026	-0.241	12	11	16
63	0.947	0.506	1.036	1.005	12	18	15
64	-1.248	-0.900	-1.177	-1.212	13	7	17
65	1.081	1.284	0.928	1.125	13	7	18
66	-0.270	-0.212	0.944	-0.520	11	7	15
67	-1.271	-0.555	-1.578	-1.463	12	8	15
68	-1.989	-0.812	-1.621	-1.958	8	13	15
69	-2.006	-2.312	-1.594	-2.072	9	11	18
70	-0.919	-0.985	-0.956	-0.908	9	10	15
71	0.479	0.944	1.265	0.447	10	8	17
72	0.039	-0.441	-0.101	0.029	14	9	15
73	-0.170	-0.113	-0.257	-0.110	11	10	16
74	-0.034	-0.206	-0.001	-0.025	13	8	18
75	0.137	-0.055	-0.276	0.151	8	13	19
76	-0.511	-0.457	-0.967	-0.541	11	8	16
77	-0.311	-0.716	-0.386	-0.303	10	13	16
78	0.461	0.447	0.557	0.462	14	7	15
79	1.084	1.554	1.015	0.114	15	8	19
80	-1.766	-1.917	-1.783	-1.763	7	10	18
81	1.738	0.916	1.683	1.774	12	11	19
82	0.671	0.521	0.419	0.646	9	10	19
83	1.751	1.978	1.362	1.741	12	9	16

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
84	0.337	0.462	0.224	0.341	7	7	17
85	0.695	0.763	0.252	0.676	11	9	15
86	0.333	0.156	0.609	0.326	10	11	15
87	-1.351	-1.469	-1.310	-1.333	9	6	15
88	-0.001	-0.324	-0.121	-0.030	12	12	15
89	0.963	-0.196	0.971	0.954	14	7	15
90	-0.856	-1.135	-0.855	-0.866	7	8	15
91	1.915	2.106	1.619	1.973	14	9	15
92	-0.220	-0.311	-0.071	-0.740	8	10	15
93	0.421	-0.013	0.296	0.448	11	7	15
94	-1.792	-1.073	-1.760	-1.721	14	11	17
95	-0.456	0.290	-0.385	-0.482	14	12	19
96	0.041	-0.346	-0.096	0.009	10	8	19
97	0.374	0.179	-0.042	0.391	10	7	18
98	-0.491	0.221	-0.615	-0.415	10	8	16
99	-0.099	0.246	0.270	-0.100	11	8	17
100	-0.301	-0.945	-0.082	-0.364	13	9	15
101	1.399	1.338	1.265	1.428	13	13	18
102	1.056	0.901	0.803	1.030	12	14	15
103	-1.001	-0.336	-0.663	-1.049	11	10	16
104	-0.212	0.375	-0.647	-0.282	15	9	16
105	0.144	-0.079	0.601	0.155	11	8	16
106	1.035	1.229	0.796	1.010	13	15	16
107	-0.748	-0.126	-0.823	-0.739	10	8	15
108	1.822	1.983	1.629	1.841	15	17	17
109	1.043	0.680	0.807	1.015	11	7	15
110	-0.511	-0.158	-0.024	-0.565	10	13	15
111	1.380	1.063	1.581	1.600	10	17	15
112	-1.649	-1.193	-1.689	-1.638	11	11	15
113	0.460	0.535	0.221	0.580	9	7	15
114	-1.311	-1.584	-1.283	-1.291	8	12	15
115	-0.515	-0.148	-0.633	-0.525	15	7	15
116	-0.432	-1.314	-0.823	-0.411	12	8	15
117	-1.277	-0.777	-1.120	-1.222	11	9	15
118	-0.457	0.191	-0.119	-0.484	13	10	15
119	1.878	2.020	1.740	1.832	8	16	15
120	-0.758	-0.984	-0.930	-0.714	7	10	15
121	-0.597	-0.695	-0.701	-0.528	6	7	15
122	-0.301	-0.762	-0.684	-0.372	11	8	15
123	0.399	1.549	0.311	0.416	17	10	15
124	-0.063	-0.268	0.350	-0.067	12	15	15
125	-0.720	-1.282	-0.828	-0.771	17	8	17
126	-0.262	-0.100	-0.055	-0.214	7	13	17

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
127	1.272	1.126	0.691	1.303	13	8	18
128	2.055	1.112	2.010	2.053	12	15	18
129	0.950	1.345	0.612	0.911	9	9	17
130	-1.308	-1.481	-1.343	-1.326	9	7	16
131	-0.331	-0.824	-0.958	-0.317	11	8	15
132	-0.763	-0.611	-0.513	-0.745	7	8	15
133	-0.050	-0.988	-0.678	-0.042	12	11	15
134	-0.448	-0.339	-0.178	-0.481	13	10	17
135	0.733	0.611	0.845	0.701	7	8	17
136	0.426	0.552	0.649	0.462	11	6	16
137	0.331	0.510	0.279	0.328	11	8	17
138	0.164	0.219	0.629	0.188	11	8	18
139	0.014	0.051	-0.217	0.043	11	9	17
140	-1.479	-1.037	-1.359	-1.466	11	8	15
141	-0.326	0.224	-0.669	-0.375	12	7	15
142	0.224	-0.041	0.002	0.242	15	8	15
143	-1.128	-1.365	-0.978	-1.160	9	12	15
144	-2.085	-1.931	-1.684	-2.014	11	10	15
145	-0.052	-0.422	0.020	-0.031	11	7	15
146	-0.644	-0.342	-0.114	-0.689	10	7	15
147	1.108	1.316	1.295	1.158	11	11	15
148	0.606	0.620	0.173	0.674	10	9	15
149	-0.828	-0.212	-0.478	-0.846	9	9	15
150	1.188	1.446	1.519	1.167	13	16	18
151	-0.675	-0.307	-0.902	-0.629	10	7	15
152	-0.081	-0.356	-0.397	-0.065	11	8	15
153	0.154	0.540	0.385	0.173	11	8	15
154	1.146	0.484	0.935	1.161	11	11	15
155	-0.230	-0.195	-0.570	-0.218	12	11	15
156	-0.805	-0.999	-0.097	-0.847	9	12	17
157	0.381	0.420	0.401	0.321	8	10	15
158	-1.034	-1.114	-1.221	-1.049	9	7	15
159	0.748	0.701	0.736	0.763	9	12	15
160	0.356	0.566	0.883	0.312	12	8	15
161	-0.719	-0.863	-1.005	-0.765	12	10	15
162	0.248	1.212	0.171	0.274	19	6	15
163	-0.795	-0.487	-1.046	-0.728	16	12	15
164	1.340	0.878	1.214	1.460	14	11	15
165	0.171	0.770	0.261	0.189	10	11	16
166	1.888	2.381	1.224	1.426	16	4	15
167	0.520	0.234	0.458	0.593	7	7	16
168	-0.148	0.606	0.152	-0.177	9	8	17
169	1.412	0.993	1.569	1.475	16	14	16



ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
170	-0.952	-1.272	-0.850	-0.920	8	6	16
171	-1.172	-0.961	-0.995	-1.141	14	17	15
172	1.202	0.253	1.467	1.236	7	13	17
173	-0.781	-1.107	-1.554	-0.725	10	10	17
174	-0.786	-0.865	-1.102	-0.762	9	7	17
175	-0.081	-0.529	0.280	-0.087	9	10	17
176	-1.912	-1.998	-1.646	-1.932	13	11	17
177	-1.704	-0.018	-0.698	-1.761	10	9	17
178	0.520	-0.078	0.598	0.548	6	8	16
179	0.745	0.116	0.095	0.727	10	11	17
180	0.761	0.307	0.533	0.731	10	9	17
181	1.494	1.601	0.958	1.412	9	7	17
182	1.261	0.711	0.738	1.279	10	8	16
183	-0.797	-1.226	-0.879	-0.741	10	7	15
184	-1.422	-0.974	-1.309	-1.433	10	9	15
185	0.264	0.868	-0.006	0.251	14	11	15
186	0.251	-0.235	0.534	0.240	15	8	15
187	-1.250	-1.544	-1.450	-1.247	8	7	15
188	0.637	0.537	0.354	0.687	11	14	15
189	2.705	3.716	1.632	2.675	30	14	16
190	0.478	0.519	0.372	0.455	7	11	17
191	-1.207	-1.170	-1.488	-1.194	10	12	17
192	0.163	0.507	-0.046	0.192	14	11	17
193	-0.302	-0.173	-0.479	-0.284	10	8	17
194	0.959	0.984	0.773	0.976	8	9	18
195	0.272	0.643	0.221	0.283	9	9	17
196	-1.656	-1.147	-1.542	-1.670	8	12	17
197	0.072	-0.113	0.076	0.051	17	8	15
198	0.734	0.807	0.259	0.712	9	14	15
199	0.657	1.257	0.680	0.638	11	8	16
200	-0.891	-0.528	-0.680	-0.843	13	13	17
201	0.628	0.672	0.631	0.678	11	11	17
202	1.416	0.803	0.895	1.463	13	15	15
203	-0.326	0.169	-0.117	-0.355	11	15	17
204	-1.454	-1.267	-1.876	-1.469	17	9	15
205	-1.140	-0.351	-1.551	-1.430	12	13	16
206	0.915	1.570	1.233	0.985	12	8	16
207	-1.403	-0.999	-1.620	-1.412	16	8	16
208	-0.452	-0.908	-0.333	-0.498	9	9	16
209	1.323	0.092	1.486	1.341	14	10	15
210	-0.547	-0.193	-0.927	-0.595	10	7	16
211	-1.223	-1.659	-1.394	-1.245	10	6	15
212	0.062	1.212	0.471	0.072	13	9	16

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
213	-0.019	-0.436	-0.006	-0.075	9	15	16
214	0.470	1.583	0.664	0.483	9	9	15
215	0.203	-0.156	-0.217	0.269	12	17	16
216	-1.177	-1.314	-1.450	-1.123	14	7	15
217	1.455	1.430	1.643	1.411	11	17	16
218	-0.239	0.317	-0.196	0.220	12	10	15
219	0.081	0.500	0.633	0.036	12	17	15
220	2.091	1.801	2.366	2.006	11	12	15
221	1.692	2.657	1.761	1.614	16	11	15
222	0.757	0.915	0.398	0.723	10	14	16
223	0.606	0.092	0.579	0.633	11	7	16
224	2.333	2.319	1.746	2.142	15	14	16
225	-0.240	-0.451	-0.289	-0.203	12	13	16
226	0.720	0.777	0.918	0.705	13	8	15
227	-0.167	-0.190	0.002	-0.144	13	12	15
228	0.107	-0.092	-0.401	0.101	10	12	15
229	-1.443	-1.195	-1.997	-1.478	10	12	15
230	-1.347	-1.195	-1.253	-1.158	9	11	15
231	-0.896	-0.682	-0.498	-0.861	9	10	15
232	-2.485	-1.561	-1.813	-2.413	11	15	15
233	-0.039	0.170	0.125	-0.078	10	10	16
234	-0.761	0.232	-0.994	-0.787	10	6	15
235	0.988	0.092	1.035	0.986	13	7	15
236	0.725	0.689	0.521	0.775	11	8	15
237	-1.372	-1.731	-0.784	-1.350	9	9	15
238	0.912	0.425	0.879	0.903	14	10	15
239	-0.130	0.055	-0.538	-0.125	9	11	15
240	0.318	0.052	0.321	0.303	12	9	15
241	-0.577	-0.844	-0.472	-0.562	10	10	15
242	0.266	-0.327	0.804	0.283	10	12	15
243	-0.255	-0.778	-0.425	-0.214	10	11	16
244	-0.019	0.116	0.213	-0.013	11	11	15
245	-0.346	-0.485	0.075	-0.322	14	11	15
246	-1.284	-1.609	-1.217	-1.286	8	8	16
247	0.881	1.035	0.984	0.871	10	12	15
248	1.893	1.112	1.498	1.832	12	9	15
249	0.236	-0.298	0.134	0.215	9	9	15
250	1.183	0.043	1.483	1.166	13	14	15
251	0.095	-0.422	0.482	0.107	11	8	15
252	0.611	0.238	0.395	0.647	11	10	15
253	-0.173	-0.161	-0.242	-0.144	14	15	18
254	0.920	1.945	0.796	0.963	18	13	15
255	-1.199	-1.245	-1.276	-1.146	12	15	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
256	1.547	1.015	0.990	1.515	11	8	15
257	-0.422	-0.350	-0.783	-0.412	9	9	15
258	-1.691	-0.589	-1.503	-1.692	7	12	15
259	0.460	0.482	0.401	0.422	12	11	15
260	-0.970	0.439	-0.795	-0.962	11	7	18
261	-0.094	-0.460	0.152	-0.081	12	8	18
262	-0.178	-0.819	0.149	-0.154	11	13	18
263	0.158	0.583	-0.004	0.159	12	7	18
264	0.843	0.738	0.750	0.896	10	11	18
265	-1.292	-0.788	-1.117	-1.224	12	10	15
266	0.611	0.042	0.419	0.601	11	6	16
267	0.266	0.937	0.112	0.274	10	8	15
268	-1.825	-1.853	-1.726	-1.822	18	12	16
269	-1.319	-1.460	-0.957	-1.306	9	9	15
270	-0.126	-0.202	-0.004	-0.114	10	9	16
271	0.481	0.997	0.298	0.489	12	9	16
272	0.780	0.520	0.291	0.798	11	13	16
273	1.776	1.122	1.422	1.792	11	10	16
274	1.162	1.522	1.260	1.174	12	12	15
275	0.561	0.819	0.714	0.523	7	8	15
276	-0.608	0.510	-0.689	-0.601	12	8	15
277	-0.722	-0.383	-0.419	-0.712	13	7	15
278	0.749	0.770	0.498	0.733	11	10	15
279	0.497	1.550	0.535	0.471	16	9	15
280	0.046	-0.235	-0.407	0.041	11	7	16
281	-1.514	-0.057	-1.016	-1.566	12	9	15
282	2.104	2.146	1.915	2.147	12	12	16
283	0.158	0.821	0.175	0.163	10	8	16
284	0.360	0.978	0.348	0.391	12	8	16
285	-1.581	-1.780	-1.644	-1.598	9	6	15
286	-0.850	0.253	-0.244	-0.650	18	11	16
287	-0.421	-0.473	-0.131	-0.411	7	17	16
288	-0.480	-0.503	-0.167	-0.451	11	7	15
289	0.027	0.187	-0.110	0.014	15	10	16
290	-0.120	-0.043	-0.162	-0.004	10	9	15
291	-0.544	-0.768	-0.191	-0.554	10	11	15
292	-0.685	-0.371	-0.678	-0.696	9	7	16
293	1.406	0.963	1.026	1.395	11	12	15
294	1.483	0.931	1.693	1.452	9	8	16
295	0.900	0.224	1.079	0.903	13	14	16
296	-0.252	-0.892	0.022	-0.241	9	14	16
297	-0.027	0.189	0.257	-0.015	11	7	15
298	0.238	0.518	0.478	0.218	14	9	15

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
299	-0.015	-0.094	-0.016	-0.01	14	8	15
300	-0.034	-0.382	0.401	-0.024	12	9	15
301	-0.046	-1.435	0.017	-0.077	7	7	15
302	-0.283	-0.163	-0.452	-0.291	12	10	16
303	-1.023	-0.799	-0.646	-1.046	9	17	15
304	-0.659	0.187	-0.459	-0.664	15	6	15
305	-0.116	-0.382	-0.044	-0.152	9	9	15
306	0.167	-0.217	0.110	0.16	11	14	15
307	-1.155	-0.665	-1.091	-1.42	10	9	15
308	-1.154	-1.631	-0.548	-1.131	12	10	15
309	-0.529	-0.461	-0.721	-0.51	7	10	15
310	1.049	1.158	0.609	1.001	16	9	15
311	0.681	0.643	0.490	0.621	9	7	15
312	-2.929	-1.994	-2.002	-2.922	11	12	15
313	-0.517	-0.667	-0.332	-0.502	10	7	15
314	-1.540	-0.900	-1.386	-1.576	9	10	15
315	-0.862	-0.169	-0.907	-0.892	15	6	15
316	0.237	-0.071	0.176	0.224	9	13	15
317	-0.558	-1.125	-0.572	-0.525	15	7	15
318	-0.799	-1.140	-0.771	-0.744	11	9	15
319	-0.195	0.271	-0.491	-0.124	12	8	15
320	-0.508	0.661	-0.945	-0.503	10	7	15
321	-0.208	0.457	-0.129	-0.204	10	8	15
322	-0.710	-0.555	-0.672	-0.762	12	7	15
323	0.818	0.709	0.819	0.869	9	10	15
324	-0.316	-0.430	-0.179	-0.34	8	10	15
325	-1.080	-0.672	-0.901	-1.093	7	5	15
326	1.246	1.148	0.862	1.223	13	6	15
327	-0.016	-0.376	0.243	-0.009	12	11	15
328	-0.519	-0.149	-0.941	-0.506	14	16	15
329	0.796	0.411	0.443	0.775	10	9	15
330	1.798	2.798	0.998	1.723	21	8	15
331	-1.357	-1.293	-0.714	-1.378	11	8	15
332	1.010	0.881	1.020	1.083	14	11	16
333	-0.887	-0.536	-0.882	-0.899	7	8	16
334	-0.992	-1.563	-0.858	-0.974	7	9	16
335	0.457	0.993	1.054	0.486	17	10	15
336	-0.811	-0.405	-0.062	-0.808	10	13	15
337	-0.013	-0.219	0.017	-0.004	13	12	15
338	0.321	-0.462	0.418	0.304	13	8	15
339	0.574	0.976	0.180	0.56	10	9	15
340	-0.167	0.325	0.055	-0.172	13	10	15
341	-1.308	-1.199	-1.417	-1.353	10	10	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
342	0.633	0.268	0.700	0.667	12	10	17
343	-0.368	-0.051	-0.824	-0.371	11	11	17
344	0.013	0.434	-0.120	0.031	10	9	17
345	-0.356	-0.395	-0.118	-0.375	15	7	17
346	1.053	0.996	1.584	1.043	8	16	16
347	-0.672	-0.931	-0.509	-0.612	8	7	17
348	0.502	0.713	0.785	0.501	9	8	16
349	1.027	1.221	0.291	1.017	12	13	17
350	-0.226	-0.733	0.152	-0.222	10	11	16
351	0.484	1.484	0.578	0.486	14	8	15
352	-0.075	0.005	-0.330	-0.096	11	8	16
353	0.298	0.928	0.129	0.320	12	11	17
354	-0.980	-1.370	-0.822	-0.996	6	9	17
355	0.536	0.810	0.343	0.511	7	7	17
356	-1.240	-0.740	-1.402	-1.120	6	8	17
357	0.223	-0.136	-0.170	0.220	11	9	15
358	2.174	1.734	1.880	2.147	11	17	17
359	0.056	-0.238	0.247	0.033	9	8	15
360	-1.006	-0.696	-0.428	-1.002	9	12	15
361	-0.592	-0.177	-0.733	-0.597	9	8	16
362	-0.812	-0.927	-0.207	-0.876	12	12	15
363	-0.254	-0.726	-0.427	-0.245	6	14	17
364	-0.585	-0.211	-0.476	-0.536	9	8	17
365	-1.048	-0.914	-0.503	-1.078	8	12	15
366	-0.877	-1.068	-0.843	-0.843	9	10	15
367	-1.570	-1.009	-1.728	-1.580	7	11	15
368	-0.292	-0.398	-0.048	-0.269	10	14	15
369	2.437	4.821	1.628	2.416	30	18	15
370	-0.570	-0.489	-0.556	-0.380	8	12	15
371	1.183	0.588	1.173	1.194	8	13	15
372	1.219	1.210	1.354	1.243	10	11	15
373	-0.076	-0.745	-0.276	-0.085	11	7	15
374	-0.229	-0.341	0.000	-0.241	8	12	15
375	1.030	1.135	0.733	1.073	11	7	15
376	0.235	-0.240	-0.216	0.213	11	11	16
377	-0.442	-0.180	-0.211	-0.432	9	10	15
378	0.029	-0.185	0.159	0.011	13	16	17
379	-1.154	-1.262	-1.426	-1.121	14	12	17
380	-0.356	-0.884	-0.154	-0.331	7	15	17
381	0.612	0.951	0.006	0.674	9	7	16
382	-0.566	-0.066	-0.233	-0.593	8	7	15
383	-1.072	-1.138	-0.860	-1.088	8	7	15
384	1.665	1.330	1.659	1.683	16	10	16

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\theta$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
385	0.371	0.164	0.329	0.393	10	9	16
386	-2.042	-1.501	-1.641	-2.024	15	15	15
387	-2.577	-1.808	-2.401	-2.556	10	10	17
388	0.160	0.047	0.068	0.142	16	9	15
389	-0.308	0.408	-0.541	-0.301	8	13	16
390	1.489	1.112	1.777	1.471	9	15	17
391	-0.530	-0.476	-0.972	-0.560	11	7	16
392	1.469	1.576	1.607	1.431	11	11	15
393	0.981	0.584	1.178	0.923	13	8	17
394	0.342	-0.109	0.060	0.319	16	9	16
395	-0.919	-1.631	-1.001	-0.903	10	6	17
396	-1.301	-1.362	-1.225	-1.291	11	9	17
397	-1.370	-1.120	-1.039	-1.321	10	11	15
398	1.124	0.430	0.703	1.115	12	9	17
399	2.421	2.506	2.433	2.432	20	18	17
400	-1.937	-1.595	-0.960	-1.934	13	12	17
401	1.835	2.309	1.998	1.855	17	11	17
402	0.476	-0.005	0.419	0.483	9	7	17
403	3.057	2.819	1.951	3.064	23	12	16
404	-2.329	-1.613	-2.196	-2.346	10	8	15
405	0.342	0.447	0.188	0.353	10	11	16
406	-0.227	-0.701	0.220	-0.210	7	7	16
407	0.686	0.213	0.310	0.612	12	8	16
408	0.769	0.536	0.838	0.747	9	9	17
409	-0.774	-0.572	-0.202	-0.744	8	14	15
410	1.047	0.600	1.164	1.012	13	9	15
411	0.773	1.219	0.472	0.789	10	13	16
412	-1.023	-0.977	-1.090	-1.040	19	8	15
413	2.494	0.939	2.006	2.502	13	11	17
414	-0.119	-0.879	-0.528	-0.142	9	9	16
415	-0.015	-0.485	0.273	-0.045	10	9	17
416	-0.236	-0.577	0.020	-0.274	19	9	15
417	-0.073	0.523	-0.402	-0.015	11	9	15
418	0.111	0.150	-0.581	0.147	11	7	15
419	1.463	1.025	1.502	1.474	14	11	15
420	-0.395	-1.117	-0.571	-0.341	9	7	15
421	0.471	-0.118	0.595	0.421	13	15	15
422	-0.035	0.403	1.187	-0.028	14	10	15
423	-0.643	-0.561	-0.213	-0.678	7	12	15
424	-0.853	-0.467	0.860	-0.896	12	11	15
425	1.405	1.020	1.621	1.458	7	10	15
426	0.250	0.539	0.696	0.410	12	8	15
427	-0.931	-0.423	-0.991	-0.947	12	8	15

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
428	-0.638	-0.105	-1.146	-0.614	14	12	16
429	0.272	0.167	-0.051	0.293	14	9	16
430	-1.568	-1.274	-1.496	-1.512	17	17	17
431	0.605	0.464	0.877	0.682	11	9	15
432	1.842	2.061	1.121	1.864	15	12	17
433	-0.546	-1.149	-0.646	-0.541	16	7	16
434	1.086	0.948	1.420	1.099	8	15	16
435	0.276	0.481	0.440	0.246	15	8	15
436	-1.175	-1.351	-0.485	-1.190	8	7	17
437	0.729	0.664	0.159	0.793	15	10	16
438	0.319	-0.197	0.638	0.378	10	10	16
439	0.298	0.648	0.201	0.341	11	10	16
440	-2.169	-1.855	-0.974	-2.155	14	11	15
441	-0.738	-1.200	-0.515	-0.726	8	9	15
442	0.016	0.216	0.310	0.008	10	10	15
443	-0.037	-0.570	-0.227	-0.065	9	9	16
444	0.055	-0.576	0.410	0.046	10	9	16
445	0.161	-0.150	0.260	0.179	15	15	16
446	-1.052	-0.928	-0.720	-1.068	10	12	15
447	1.085	0.051	1.496	1.074	11	11	16
448	1.026	0.448	0.824	1.094	8	7	16
449	0.244	0.856	0.245	0.236	12	10	15
450	0.521	-0.055	0.242	0.547	21	11	15
451	1.261	1.714	1.279	1.269	13	13	16
452	-0.386	0.434	-0.637	-0.311	12	8	16
453	0.037	-0.184	0.550	0.049	10	8	16
454	1.014	1.719	0.800	1.076	11	9	15
455	-0.134	0.159	-0.168	-0.146	10	8	16
456	0.879	0.690	0.500	0.847	10	11	15
457	0.968	0.892	1.562	0.952	12	13	16
458	-1.414	-1.419	-0.994	-1.401	10	10	15
459	0.161	0.698	0.189	0.149	8	10	15
460	0.259	0.378	0.182	0.250	9	9	15
461	-0.493	0.169	-0.114	-0.505	8	12	15
462	1.062	-0.090	0.576	1.078	8	7	16
463	0.978	0.072	1.107	0.989	11	9	16
464	-0.552	-0.167	-0.473	-0.523	17	12	16
465	1.580	1.555	1.071	1.861	16	10	16
466	-1.071	-1.387	-1.140	-1.013	9	10	15
467	-1.213	-1.207	-0.755	-1.201	14	7	16
468	0.064	0.115	0.638	0.032	14	10	16
469	-0.091	-0.745	-0.352	-0.856	7	7	15
470	0.815	1.129	1.105	0.806	12	8	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
471	0.689	0.594	0.346	0.699	10	9	15
472	-0.582	-0.301	-0.475	-0.541	10	7	16
473	-0.005	1.163	-0.397	-0.002	11	6	15
474	0.227	0.395	-0.069	0.247	13	9	16
475	0.778	0.682	0.742	0.789	9	10	15
476	-1.280	-1.207	-1.327	-1.140	12	10	16
477	-1.046	-0.356	-1.128	-1.063	16	12	16
478	-0.156	-0.301	0.026	-0.144	12	9	15
479	0.266	0.640	0.022	0.295	9	15	16
480	2.091	1.307	1.016	2.034	16	9	15
481	0.600	0.328	0.404	0.621	15	8	16
482	-0.925	-0.975	-0.795	-0.931	9	10	15
483	-1.382	-0.603	-1.430	-1.342	18	7	16
484	0.780	1.327	0.262	0.716	10	10	15
485	-1.064	-1.100	-0.714	-1.063	7	8	16
486	-0.416	-0.100	-0.703	-0.453	16	12	15
487	-1.676	-1.203	-1.390	-1.613	12	7	15
488	-0.379	-0.278	-0.272	-0.395	12	6	16
489	0.366	0.657	0.230	0.323	14	7	15
490	-1.335	-1.065	-1.167	-1.317	10	9	15
491	-0.391	-1.350	-0.567	-0.404	7	6	15
492	0.718	0.164	0.146	0.753	11	8	16
493	0.290	1.699	-0.205	0.310	18	14	16
494	0.758	1.477	0.701	0.766	13	8	15
495	0.920	1.192	0.494	0.964	12	12	15
496	-0.479	0.956	-0.237	-0.483	10	14	15
497	0.129	0.419	0.032	0.115	12	11	15
498	0.514	0.554	1.150	0.511	12	14	15
499	0.422	0.091	0.337	0.410	11	9	19
500	0.025	-0.188	-0.190	0.021	9	10	15
501	-0.394	0.119	-0.306	-0.398	11	12	15
502	-0.760	-0.240	-0.629	-0.850	11	5	19
503	0.284	0.443	0.446	0.297	9	16	17
504	1.021	1.040	0.592	1.043	12	10	16
505	-0.004	-0.105	0.033	-0.021	12	8	16
506	-0.406	-0.681	-0.493	-0.445	7	7	18
507	-0.729	-0.598	-0.673	-0.743	11	10	18
508	0.280	0.130	0.016	0.214	10	6	17
509	1.976	1.601	1.996	1.955	9	17	19
510	0.849	0.582	1.082	0.816	10	7	18
511	-0.411	-0.527	0.266	-0.410	8	9	15
512	2.585	1.570	2.375	2.525	17	17	16
513	-1.095	-1.277	-1.221	-1.124	7	10	17



## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
514	0.820	-0.488	0.601	0.941	11	6	19
515	-0.244	-0.164	0.059	-0.286	15	8	15
516	1.385	1.408	0.718	1.351	13	8	19
517	0.772	-0.798	0.641	0.725	11	7	15
518	-0.725	-0.848	-0.954	-0.720	12	7	16
519	-1.713	-1.328	-1.462	-1.706	13	10	18
520	0.302	-0.195	0.163	0.294	13	6	15
521	0.990	0.196	0.511	0.107	12	9	17
522	-2.188	-1.919	-1.756	-2.198	14	12	19
523	-0.955	-0.864	-0.596	-0.966	9	7	15
524	-0.038	-0.099	-0.270	-0.047	9	11	15
525	0.062	0.497	0.168	0.088	13	7	16
526	0.076	0.162	-0.065	0.054	8	10	16
527	2.370	2.597	1.952	2.280	18	12	16
528	1.144	1.252	0.864	1.123	11	8	18
529	1.038	1.629	1.289	1.018	14	15	18
530	0.003	0.640	-0.006	0.003	11	16	19
531	1.070	0.908	0.709	1.089	15	7	17
532	-1.051	-1.283	-1.023	-1.064	13	8	17
533	-1.285	-0.586	-1.285	-1.265	9	8	17
534	-1.416	-1.700	-1.186	-1.423	11	9	15
535	-0.378	-0.100	-0.091	-0.371	11	11	17
536	-2.057	-1.981	-1.916	-2.013	7	13	16
537	0.948	1.328	0.857	0.943	14	11	16
538	-0.049	-0.136	0.525	-0.096	10	9	15
539	-0.562	-0.963	-0.462	-0.527	8	16	15
540	0.215	0.934	0.451	0.268	13	13	16
541	1.075	0.655	1.379	1.017	11	12	17
542	-0.520	-0.745	-0.496	-0.516	12	13	17
543	-1.159	-1.054	-1.015	-1.174	11	12	17
544	0.389	0.482	-0.104	0.349	14	11	19
545	-0.379	0.550	-0.519	-0.316	13	7	15
546	-0.473	-1.141	-0.764	-0.429	11	8	16
547	1.889	1.795	1.156	1.892	17	21	18
548	-2.053	-1.537	-1.733	-2.016	12	13	19
549	-0.869	-0.618	-1.233	-0.846	11	7	18
550	-0.505	-1.117	-0.584	-0.568	10	7	15
551	-0.815	-0.886	-0.710	-0.843	18	9	17
552	0.397	0.752	-0.010	0.314	11	11	18
553	0.238	0.287	0.354	0.214	11	7	15
554	-1.334	-1.132	-1.433	-1.387	8	5	19
555	0.863	0.716	0.992	0.843	12	9	19
556	-0.897	-1.358	-0.576	-0.816	13	10	16

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
557	0.557	0.481	0.721	0.596	10	8	17
558	1.699	0.975	1.470	1.613	13	10	15
559	0.727	0.073	0.487	0.743	12	9	16
560	-0.529	-0.109	-0.099	-0.536	13	8	19
561	0.218	0.773	0.700	0.248	10	14	15
562	0.186	0.077	0.396	0.163	9	15	18
563	0.372	0.411	0.330	0.378	12	9	19
564	-0.510	-0.712	-0.920	-0.532	10	8	17
565	0.857	0.825	1.035	0.841	9	12	15
566	0.207	0.743	0.218	0.268	10	11	15
567	0.705	1.189	1.277	0.741	13	14	16
568	0.729	1.166	0.713	0.763	17	8	15
569	0.498	-0.530	0.293	0.432	9	10	18
570	-1.543	-0.884	-1.594	-1.532	9	8	19
571	1.936	1.529	1.993	1.924	12	11	18
572	-2.648	-1.221	-1.822	-2.621	13	12	19
573	0.137	-0.022	0.295	0.134	10	8	18
574	-1.658	-2.269	-1.555	-1.624	8	12	17
575	-0.622	-0.783	-0.829	-0.683	6	10	18
576	-0.580	-0.722	-0.630	-0.541	9	9	18
577	-0.932	-0.555	-0.696	-0.941	7	13	15
578	-0.802	-0.162	-0.866	-0.806	12	9	15
579	-1.272	-0.122	-1.255	-1.241	10	10	18
580	-0.359	-0.083	-0.472	-0.395	11	10	18
581	1.744	2.180	1.622	1.731	14	11	19
582	-0.386	-0.776	-0.297	-0.345	10	11	19
583	-0.724	-0.728	-0.862	-0.736	10	7	16
584	0.253	-0.886	0.642	0.264	9	8	19
585	0.522	0.886	0.200	0.576	11	9	18
586	0.371	1.098	0.178	0.324	13	8	19
587	1.390	1.060	1.033	1.398	9	10	17
588	-0.415	-0.706	-0.857	-0.425	8	11	17
589	-2.053	-1.199	-2.096	-2.069	17	12	15
590	0.286	0.375	0.269	0.284	7	8	19
591	0.192	0.245	0.421	0.156	9	14	17
592	-0.558	-0.575	-0.422	-0.531	11	11	16
593	0.418	0.590	-0.037	0.474	7	10	15
594	0.012	0.252	-0.073	0.056	13	7	15
595	-1.419	-0.568	-1.230	-1.432	7	11	16
596	1.435	1.268	0.566	1.486	10	12	15
597	0.673	0.160	0.749	0.642	11	7	15
598	-0.421	-0.500	-0.663	-0.416	8	8	15
599	1.395	1.918	1.103	1.374	14	14	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\theta$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
600	-1.541	-0.590	-1.481	-1.586	6	8	15
601	0.293	-0.165	0.531	0.246	10	9	15
602	0.073	-0.193	-0.041	0.096	7	8	16
603	0.480	0.196	-0.037	0.652	19	9	15
604	0.151	-0.406	0.205	0.179	10	12	17
605	0.051	-0.355	0.199	0.061	10	10	16
606	-0.015	-0.710	0.377	-0.036	10	9	16
607	1.547	2.245	1.444	1.586	14	10	15
608	0.012	-0.193	0.411	0.046	14	9	17
609	-1.074	0.190	-1.580	-1.045	15	9	17
610	0.127	-0.104	-0.395	0.186	11	15	17
611	-0.577	-1.073	-0.384	-0.541	11	19	16
612	0.111	-0.430	0.129	0.132	20	9	15
613	-0.694	-0.230	-0.412	-0.645	12	6	17
614	-1.347	-1.273	-1.256	-1.375	6	6	16
615	-0.636	-0.563	-0.960	-0.614	9	10	16
616	-0.081	0.230	-0.300	-0.063	11	8	16
617	0.374	0.105	-0.022	0.375	17	8	15
618	0.150	0.393	-0.122	0.197	11	13	16
619	1.107	1.035	0.762	1.169	11	8	17
620	0.217	0.067	0.456	0.275	13	8	15
621	-0.638	-0.893	-0.785	-0.641	6	7	17
622	0.193	0.242	0.147	0.186	8	7	15
623	-1.848	-1.942	-2.117	-1.832	10	9	16
624	-0.669	-0.429	-0.506	-0.613	10	10	15
625	1.684	1.297	1.445	1.628	11	15	17
626	-2.316	-1.072	-1.761	-2.376	13	15	16
627	0.159	0.116	0.379	0.163	17	11	16
628	0.555	0.653	0.683	0.573	9	9	15
629	0.759	0.808	0.943	0.746	11	9	17
630	-0.546	-0.031	-0.656	-0.569	11	11	15
631	-0.006	0.655	0.277	-0.004	6	6	17
632	0.355	-0.127	0.117	0.375	15	14	17
633	2.298	2.149	1.262	2.294	13	8	16
634	1.194	1.121	1.603	1.184	12	10	15
635	0.174	-0.364	-0.228	0.165	9	9	16
636	-1.263	-1.366	-0.498	-1.248	5	6	15
637	1.113	1.813	0.818	1.165	13	7	15
638	1.310	1.564	1.142	1.384	13	7	15
639	-0.543	-0.380	-0.480	-0.586	13	8	15
640	-0.310	-0.574	-0.299	-0.346	12	9	16
641	-0.235	0.794	-0.194	-0.296	12	7	15
642	-0.689	-0.402	-1.018	-0.645	9	11	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
643	1.607	1.943	1.432	1.632	19	10	15
644	-2.609	-2.129	-2.064	-2.685	11	9	15
645	1.101	1.594	0.908	1.147	9	8	15
646	-0.451	-0.081	-0.215	-0.496	10	13	15
647	1.027	0.672	0.694	1.087	11	6	16
648	0.704	1.186	0.401	0.713	16	8	15
649	-0.193	-0.963	-0.337	-0.186	13	14	16
650	0.700	0.832	0.553	0.713	10	13	15
651	1.311	0.684	1.314	1.355	10	14	15
652	-2.070	-2.683	-2.341	-2.065	9	9	16
653	-0.217	0.269	-0.729	-0.263	10	11	15
654	-0.267	-0.103	0.342	-0.276	14	11	16
655	-0.300	-0.730	-0.283	-0.364	19	7	16
656	0.728	1.219	0.119	0.713	8	9	16
657	-0.471	-0.124	0.143	-0.475	11	7	16
658	0.438	0.362	0.157	0.468	12	7	15
659	-0.177	0.071	0.016	-0.163	10	15	16
660	-0.750	-0.058	-0.921	-0.713	11	11	15
661	-1.030	-0.038	-1.175	-1.046	14	10	16
662	0.844	1.063	1.108	0.893	9	9	15
663	1.359	1.074	0.809	1.384	9	8	15
664	1.263	0.598	1.826	1.286	10	13	15
665	-1.295	-0.913	-1.001	-1.294	11	7	15
666	-0.359	-0.489	-0.510	-0.326	14	11	15
667	0.513	0.447	0.187	0.593	13	13	16
668	0.479	0.443	0.274	0.482	11	9	15
669	1.591	0.995	1.347	1.539	9	13	15
670	-0.529	-0.681	-0.597	-0.594	9	10	15
671	-1.430	-2.295	-1.202	-1.630	9	12	16
672	0.705	0.635	0.674	0.746	10	7	15
673	0.081	0.640	-0.115	0.076	10	6	15
674	0.650	1.232	0.077	0.624	16	12	16
675	1.756	2.145	1.878	1.763	17	12	15
676	1.008	1.146	1.236	1.046	16	10	15
677	-0.743	-0.954	-0.703	-0.763	9	8	16
678	0.084	0.241	-0.055	0.043	17	5	15
679	-0.555	-0.373	-0.044	-0.513	9	13	16
680	-0.251	-0.234	0.065	-0.265	13	8	16
681	-2.098	-2.304	-2.111	-2.086	15	11	16
682	0.778	0.726	1.006	0.786	12	9	15
683	-0.435	-0.059	-0.685	-0.413	11	10	16
684	0.107	0.504	0.135	0.186	16	6	15
685	1.860	1.995	1.695	1.826	13	15	15

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\theta$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
686	0.179	0.208	0.532	0.123	10	7	15
687	0.134	0.228	-0.529	0.149	11	6	15
688	2.530	3.749	2.870	2.563	30	17	15
689	-1.150	-0.291	-1.242	-1.176	13	8	15
690	1.509	0.654	1.169	1.587	12	15	16
691	0.210	0.813	0.389	0.398	12	12	15
692	-0.678	-0.962	-1.109	-0.646	13	7	15
693	1.321	1.964	1.283	1.369	16	9	15
694	-2.183	-2.188	-2.297	-2.174	12	11	15
695	0.370	0.702	0.016	0.321	10	6	16
696	-0.656	-0.489	-0.564	-0.623	14	6	15
697	1.090	1.928	0.701	1.074	14	12	16
698	-2.408	-0.955	-2.187	-2.426	9	13	15
699	0.397	0.066	0.268	0.391	14	8	16
700	0.713	1.126	0.611	0.716	8	9	15
701	-1.481	-1.092	-1.252	-1.429	11	6	16
702	0.269	0.115	0.311	0.298	12	9	15
703	-1.517	-1.144	-1.224	-1.523	9	11	16
704	-0.870	-1.132	-0.151	-0.826	8	13	15
705	-0.749	-1.005	-0.121	-0.752	10	7	16
706	-0.196	0.195	-0.275	-0.126	10	11	16
707	-2.181	-2.640	-2.133	-2.176	8	11	15
708	-1.190	-1.775	-1.099	-1.236	11	8	16
709	0.389	0.659	0.399	0.394	15	10	16
710	-0.201	-0.119	0.114	-0.286	8	12	15
711	0.807	1.045	0.762	0.841	9	7	15
712	0.132	-0.879	0.291	0.156	7	8	16
713	-0.361	0.054	-0.413	-0.381	10	6	16
714	-0.677	-1.438	-0.721	-0.613	14	8	15
715	-0.035	-0.368	0.049	-0.016	12	8	16
716	-2.832	-0.821	-1.479	-2.841	10	15	15
717	-0.881	-0.869	-1.062	-0.834	10	11	15
718	-0.082	0.174	-0.035	-0.083	10	13	15
719	-0.724	-0.878	-0.021	-0.713	8	11	16
720	1.643	1.887	2.075	1.638	10	13	16
721	0.911	0.816	0.881	0.913	11	8	16
722	0.134	-0.668	0.541	0.156	8	10	16
723	-0.594	-1.149	0.037	-0.524	13	11	15
724	1.417	1.427	1.497	1.493	14	10	16
725	-1.051	-1.349	-0.968	-1.084	7	6	16
726	0.674	0.584	0.472	0.628	9	9	15
727	0.516	0.831	0.585	0.537	9	6	15
728	0.992	0.162	0.685	0.946	8	8	16

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
729	1.135	1.021	1.197	1.186	13	15	16
730	-3.224	-4.074	-2.584	-3.268	30	15	15
731	0.888	0.998	0.706	0.841	12	9	16
732	-0.387	-0.975	-0.390	-0.326	10	8	16
733	-0.432	-0.643	-0.149	-0.469	12	7	15
734	0.023	-0.447	-0.341	0.026	8	7	15
735	0.447	0.409	0.245	0.462	14	7	15
736	-0.262	-0.878	-0.226	-0.268	13	9	15
737	0.480	0.079	0.536	0.469	12	7	15
738	-1.822	-2.298	-1.782	-1.869	11	9	15
739	1.683	2.225	1.936	1.614	19	14	15
740	0.291	0.321	0.293	0.239	14	10	16
741	1.731	1.626	1.115	1.768	11	12	15
742	0.977	0.757	0.448	0.924	10	6	15
743	1.067	0.081	0.343	1.089	9	11	15
744	0.090	0.701	0.282	0.094	9	14	16
745	-0.370	0.106	-0.473	-0.643	11	8	15
746	0.166	-0.188	0.554	0.135	11	7	16
747	1.631	1.583	1.036	1.678	11	9	16
748	-0.463	-0.248	-0.044	-0.486	12	9	16
749	0.919	0.017	0.862	0.924	13	6	15
750	-0.241	-0.374	-0.180	-0.286	13	13	16
751	-0.744	-1.157	-0.535	-0.761	13	10	16
752	-0.914	-0.487	-1.230	-0.924	12	11	15
753	-0.655	-0.622	-0.802	-0.614	14	10	15
754	0.898	1.265	0.936	0.835	13	9	15
755	-0.020	-0.482	0.009	-0.013	10	7	15
756	-0.038	1.332	0.168	-0.030	10	18	15
757	0.414	0.671	0.555	0.486	10	11	15
758	0.124	0.041	0.098	0.146	8	9	16
759	0.546	0.854	0.527	0.647	11	6	15
760	0.546	0.599	0.517	0.532	15	9	16
761	-1.259	0.156	-0.756	-1.294	13	10	16
762	-1.059	-1.647	-1.306	-1.074	11	8	15
763	-0.004	-0.273	0.197	-0.007	10	12	16
764	0.659	1.788	0.797	0.624	19	9	16
765	-0.125	0.396	-0.291	-0.186	10	7	15
766	-0.698	-0.153	-0.595	-0.624	12	10	15
767	0.524	1.202	0.433	0.541	14	6	16
768	0.931	1.291	0.988	0.924	12	7	16
769	-0.571	0.134	-0.460	-0.527	10	9	15
770	0.106	-0.237	0.016	0.183	12	11	15
771	1.371	0.680	1.564	1.334	11	11	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
772	-0.035	0.093	0.059	-0.046	9	14	16
773	0.791	0.852	1.093	0.793	9	10	16
774	-0.431	-1.669	-0.454	-0.439	12	11	16
775	0.280	0.695	0.174	0.269	6	7	15
776	-0.279	-0.051	0.002	-0.256	16	7	16
777	0.220	0.693	-0.027	0.264	13	11	15
778	-0.522	-1.110	-0.486	-0.514	8	7	16
779	0.803	0.664	0.729	0.836	11	12	16
780	0.442	0.536	0.027	0.486	16	12	15
781	-1.532	-1.020	-1.078	-1.589	8	10	16
782	0.641	0.285	0.765	0.671	11	10	15
783	-1.898	-1.571	-1.664	-1.823	10	8	15
784	-0.570	-0.210	-0.447	-0.539	13	7	16
785	0.162	0.257	0.664	0.186	13	9	15
786	-0.858	-0.364	-0.960	-0.836	9	10	15
787	-0.923	-0.467	-0.879	-0.945	8	6	15
788	-0.519	-0.726	-0.750	-0.593	11	11	15
789	-0.009	0.647	-0.145	-0.004	12	13	16
790	0.639	0.227	0.526	0.683	11	8	15
791	-0.613	-0.338	-0.572	-0.627	13	10	15
792	-0.082	-0.692	0.117	-0.835	10	13	16
793	0.667	0.197	0.355	0.623	11	7	16
794	-1.393	-1.087	-1.158	-1.387	9	10	15
795	1.630	1.336	2.021	1.658	7	15	16
796	-1.184	-1.257	-1.209	-1.136	8	12	15
797	2.227	2.255	1.583	2.674	17	8	15
798	-0.325	-0.072	0.037	-0.357	9	10	15
799	-0.676	-0.384	-0.784	-0.789	8	6	16
800	0.474	0.627	1.055	0.469	13	8	16
801	0.745	0.277	0.948	0.796	14	8	15
802	-0.262	0.117	0.229	-0.241	10	5	15
803	1.106	0.679	1.740	1.186	11	12	15
804	-0.641	-0.966	-0.469	-0.628	11	13	15
805	2.677	1.914	2.907	2.626	19	13	15
806	-0.003	-0.066	-0.142	-0.002	12	9	15
807	-0.491	-0.939	0.179	-0.435	10	7	15
808	0.400	1.153	0.591	0.763	13	9	16
809	-0.517	-0.879	0.295	-0.596	13	13	16
810	0.923	2.184	0.771	0.924	15	8	16
811	-0.099	0.361	0.089	-0.093	14	7	16
812	-0.411	-0.423	-0.574	-0.465	17	13	16
813	-0.368	-0.257	-0.386	-0.384	8	18	15
814	-0.266	-0.078	-0.075	-0.216	14	10	16

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
815	0.401	-0.063	0.332	0.486	10	10	15
816	0.191	0.397	-0.343	0.167	10	17	16
817	1.420	0.905	1.665	1.469	12	11	16
818	0.589	0.711	0.743	0.524	12	6	15
819	0.928	0.678	0.489	0.932	9	7	15
820	0.677	-0.435	0.478	0.641	13	6	16
821	0.232	-0.055	-0.220	0.286	17	11	15
822	-0.563	0.527	-0.671	-0.517	16	11	15
823	0.983	1.745	1.103	0.934	11	8	16
824	0.780	-0.056	0.708	0.746	7	14	16
825	1.016	0.233	0.094	1.035	8	9	15
826	1.538	2.220	1.747	1.529	15	17	16
827	0.576	-0.768	0.742	0.524	10	8	15
828	-0.150	0.308	-0.155	-0.137	12	6	15
829	0.136	-0.092	0.152	0.174	15	9	16
830	1.386	0.485	1.034	1.365	9	7	15
831	-0.273	-0.690	-0.083	-0.264	9	16	16
832	-0.344	-0.315	0.021	-0.386	10	14	16
833	0.228	1.307	-0.070	0.247	10	10	15
834	-2.348	-2.165	-1.705	-2.146	12	14	15
835	0.237	0.080	0.375	0.273	13	9	16
836	0.780	0.209	0.562	0.793	12	16	15
837	-0.193	0.056	0.241	-0.174	12	10	15
838	-0.830	-0.179	-0.643	-0.46	6	7	15
839	-0.914	-0.739	-0.542	-0.932	15	17	15
840	0.437	0.122	0.067	0.496	12	8	16
841	0.117	0.992	0.558	0.142	12	10	15
842	0.583	0.966	0.542	0.562	8	6	15
843	0.825	0.719	0.328	0.848	13	9	16
844	0.832	1.408	0.654	0.847	16	8	16
845	0.198	-0.226	0.246	0.176	12	10	16
846	0.259	1.088	0.194	0.274	13	9	16
847	-0.114	-0.182	-0.294	-0.165	10	13	16
848	0.113	0.311	0.231	0.138	9	8	15
849	1.610	1.941	1.590	1.860	12	15	16
850	-1.476	-0.869	-1.012	-1.453	6	17	16
851	0.269	-0.113	-0.252	0.282	11	8	15
852	2.380	2.350	1.107	2.570	11	12	16
853	-0.815	-1.191	-0.542	-0.863	9	8	16
854	0.349	0.480	0.275	0.315	12	5	15
855	-0.630	0.763	-0.669	-0.673	14	9	16
856	1.727	2.176	1.843	1.736	20	16	15
857	1.075	0.757	0.956	1.061	10	10	15



## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
858	-1.394	-0.133	-1.377	-1.351	13	11	15
859	-1.167	-0.659	-1.279	-1.153	13	8	15
860	1.646	1.539	1.342	1.621	10	13	16
861	0.330	0.251	0.636	0.314	9	9	16
862	-0.533	-0.589	-0.300	-0.521	10	8	15
863	-0.268	0.472	-0.160	-0.237	16	7	16
864	0.253	0.014	0.000	0.219	16	8	16
865	0.800	-0.148	0.762	0.740	19	10	16
866	-0.071	-0.305	0.167	-0.042	7	11	16
867	-0.909	-0.799	-0.810	-0.963	8	7	15
868	-0.238	-0.740	0.446	-0.218	6	8	16
869	1.434	0.925	1.321	1.429	9	9	15
870	-2.842	-2.618	-2.312	-2.813	12	17	15
871	-0.426	-1.332	-0.844	-0.486	10	10	15
872	-0.092	-0.224	-0.270	-0.032	10	12	15
873	-1.646	-0.337	-1.628	-1.627	11	15	16
874	0.307	0.750	0.642	0.347	10	8	16
875	-0.090	0.558	-0.241	-0.063	13	11	16
876	-0.442	-0.753	-0.312	-0.479	13	8	17
877	-0.810	-1.686	-0.827	-0.863	12	5	18
878	2.472	2.335	2.154	2.695	16	12	16
879	0.922	0.114	1.124	0.954	9	7	16
880	0.063	-0.466	0.210	0.084	12	8	15
881	0.800	1.103	0.762	0.826	11	10	15
882	-0.196	-0.803	-0.113	-0.174	15	11	15
883	-0.160	-0.137	0.252	-0.156	9	7	17
884	-0.686	-1.042	-0.506	-0.623	7	7	18
885	-2.539	-1.707	-1.951	-2.513	12	12	18
886	0.683	0.438	0.489	0.624	9	10	18
887	0.756	1.237	1.060	0.786	13	14	18
888	-1.107	0.193	-1.020	-1.173	12	8	17
889	0.374	0.264	0.707	0.386	12	10	17
890	-0.942	-0.989	-1.551	-0.914	14	8	16
891	-1.035	-0.695	-1.020	-1.056	8	8	17
892	-0.402	-0.639	-0.430	-0.436	11	6	17
893	1.293	2.195	1.690	1.248	22	19	15
894	2.951	11.352	1.863	2.924	30	8	18
895	-0.001	-0.257	0.439	-0.001	10	8	18
896	-0.001	0.146	0.065	-0.006	11	8	16
897	0.849	0.964	0.718	0.851	9	9	17
898	0.124	0.128	-0.123	0.563	11	9	15
899	2.204	1.416	1.284	2.260	11	19	16
900	-0.883	-0.997	-1.415	-0.842	10	7	18

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
901	0.851	1.341	1.213	0.826	15	9	18
902	-0.076	-0.472	-0.426	-0.043	12	8	17
903	1.721	2.416	1.634	1.746	17	11	17
904	-0.195	-0.102	0.079	-0.143	13	11	15
905	-0.728	-0.951	-1.041	-0.743	13	7	15
906	-1.450	-2.054	-1.185	-1.124	12	9	17
907	1.358	1.385	0.874	1.352	10	9	16
908	-1.809	-1.577	-1.433	-1.462	11	6	15
909	-1.801	-1.423	-1.339	-1.865	17	8	17
910	0.216	-0.525	-0.023	0.276	11	9	16
911	-0.049	-0.622	0.183	-0.034	10	10	18
912	1.327	1.308	1.838	1.319	10	13	18
913	0.914	1.446	0.309	0.936	10	8	16
914	-0.199	0.239	-0.108	-0.163	11	10	18
915	1.383	1.398	1.026	1.382	8	10	18
916	-0.765	-0.688	-0.266	-0.753	17	7	16
917	1.523	0.980	1.029	1.597	12	12	16
918	-0.202	-0.365	-0.035	-0.267	13	14	17
919	0.713	1.154	0.926	0.759	10	6	18
920	0.418	0.506	0.797	0.486	11	12	16
921	0.183	0.208	0.313	0.176	12	7	16
922	1.816	2.484	1.496	1.384	27	10	15
923	1.934	2.392	1.765	1.985	9	16	15
924	-0.494	-0.211	-0.540	-0.478	13	8	15
925	0.512	0.105	0.910	0.539	16	11	15
926	0.239	0.485	-0.011	0.279	9	10	15
927	-1.496	-1.172	-1.687	-1.472	11	8	15
928	-0.373	-0.389	0.781	-0.352	9	8	15
929	-0.964	-1.267	-0.588	-0.924	7	9	17
930	0.638	0.791	0.340	-0.684	7	7	17
931	-0.008	0.045	0.186	-0.076	14	16	15
932	0.161	0.020	0.248	0.183	11	5	15
933	0.248	0.058	0.949	0.264	15	8	15
934	0.860	0.670	1.219	0.826	9	7	15
935	-0.727	-0.644	-0.971	-0.765	5	7	15
936	-1.132	-1.311	-0.951	-1.183	15	9	17
937	-0.137	0.100	-0.030	-0.168	10	11	15
938	-1.157	-1.101	-1.062	-1.184	8	7	17
939	-0.329	-0.347	-0.097	-0.354	9	8	15
940	0.471	-0.062	0.345	0.426	7	11	15
941	1.916	1.864	2.086	1.921	20	13	18
942	0.931	1.119	0.358	0.938	10	14	15
943	-1.436	0.814	-1.486	-1.483	6	10	15

## ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
944	0.218	-0.207	0.741	0.248	14	7	15
945	0.192	0.299	-0.213	0.175	11	9	15
946	0.306	0.716	0.134	0.384	7	8	15
947	0.619	0.828	0.453	0.624	10	8	15
948	0.575	0.583	0.459	0.524	10	8	15
949	-1.082	-0.594	-1.295	-1.073	10	11	15
950	-0.485	-0.369	-0.707	-0.455	13	16	15
951	0.101	0.128	0.053	0.147	15	7	15
952	0.823	0.772	1.060	0.876	7	12	15
953	-0.518	-0.783	-0.461	-0.576	6	10	15
954	-1.573	-0.938	-1.605	-1.526	9	13	15
955	1.364	2.404	1.307	1.752	21	13	15
956	-1.358	-1.293	-1.409	-1.316	16	8	15
957	0.769	1.454	1.204	0.741	12	18	16
958	0.569	0.339	0.463	0.537	10	12	15
959	-0.549	-0.126	-0.124	-0.517	16	11	15
960	0.566	0.672	0.174	0.523	15	16	15
961	0.604	-0.154	0.693	0.665	12	9	18
962	0.983	0.967	1.012	0.913	12	8	15
963	-1.410	-1.287	-1.165	-1.275	8	9	15
964	0.681	0.248	0.740	0.637	13	6	15
965	0.266	-0.042	0.322	0.213	13	9	19
966	0.489	0.053	0.172	0.465	17	9	15
967	-0.947	-1.109	-0.818	-0.927	9	15	15
968	-0.037	0.054	-0.378	-0.076	12	13	15
969	-0.113	0.098	-0.005	-0.155	10	11	15
970	-0.389	-0.801	-0.180	-0.369	10	8	15
971	1.300	0.740	0.546	1.580	10	14	15
972	0.735	0.748	0.176	0.792	7	9	15
973	-0.017	0.846	0.001	-0.035	12	7	15
974	-0.608	-0.196	-0.773	-0.676	13	8	15
975	0.553	1.032	0.347	0.576	12	21	15
976	-0.962	-1.272	-1.051	-0.927	7	11	15
977	0.252	0.037	0.375	0.273	14	10	15
978	1.263	1.224	1.238	1.217	10	16	16
979	-1.938	-1.332	-1.562	-1.325	10	10	15
980	0.501	0.109	0.016	0.576	15	6	15
981	0.302	-0.352	0.553	0.368	10	8	15
982	0.967	1.148	1.326	0.974	11	13	15
983	-1.337	-1.776	-0.951	-1.375	11	9	17
984	0.672	0.731	0.433	0.617	9	9	16
985	-0.712	-1.146	-0.191	-0.769	8	10	15
986	-1.252	-1.210	-1.330	-1.284	11	13	15

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

ที่	ค่า $\theta$	ค่าประมาณ $\hat{\theta}$			ความยาวของแบบทดสอบ		
		วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
987	-1.459	-1.009	-1.439	-1.416	9	8	15
988	0.647	0.995	-0.057	0.673	11	12	15
989	-0.551	-0.354	-0.712	-0.576	16	19	15
990	-1.455	-1.490	-1.116	-1.453	16	10	15
991	-1.108	-1.299	-0.909	-1.136	14	6	15
992	0.077	-0.447	0.228	0.067	8	8	15
993	1.030	1.534	0.892	1.105	13	16	17
994	-0.725	-1.160	-1.023	-0.769	10	13	15
995	-0.138	-0.253	-0.187	-0.178	11	12	15
996	0.263	1.234	0.468	0.278	17	16	15
997	0.158	0.219	-0.381	0.176	14	7	15
998	-0.136	0.639	-0.425	-0.176	11	9	18
999	-0.744	-1.140	-0.593	-0.736	15	8	15
1000	0.461	-0.265	0.313	0.435	10	8	15
<i>Mean</i>	0.007	0.062	0.009	0.010	11.43	9.95	15.85
<i>SD</i>	1.004	1.073	0.925	1.005	3.20	2.86	1.10
<i>RMSE</i>		0.583	0.348	0.116			
<i>Average Bias</i>		0.055	0.001	0.003			

จากตารางที่ ข1 แสดงค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) ชุดที่ 1 ซึ่งใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาในสถานการณ์จำลอง การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ดำเนินการศึกษาซ้ำทั้งหมด 10 รอบ ทุกรอบใช้คลังข้อสอบจำลองขนาด 500 ข้อ ชุดเดียวกัน แต่ใช้ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบที่ละชุด ชุดละ 1,000 ค่า รวมทั้งหมด 10,000 ค่า ผลที่ได้รับจากการศึกษาแต่ละครั้ง จะได้ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\hat{\theta}$ ) และความยาวของแบบทดสอบของค่า  $\theta$  แต่ละค่า ดังนั้น ในแต่ละวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป จะได้ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ และความยาวของแบบทดสอบ อย่างละ 10,000 ค่า เนื่องด้วยข้อจำกัดในการแสดงผล จึงขอแสดงผลเฉพาะชุดที่ 1 เท่านั้น (ดังตารางที่ ข-1) ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบนี้ นำไปคำนวณหาค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความลำเอียงเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าความสามารถของผู้สอบ (แสดงตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อถัดไป) ส่วนความยาวของแบบทดสอบ จะนำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านความยาวของแบบทดสอบ

## ข.2. การคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

การคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ดำเนินการโดยนำค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) และค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\hat{\theta}$ ) ที่ได้รับจากการศึกษาในสถานการณ์จำลอง (แสดงในตารางที่ ข-1) มาแทนค่าในสมการที่ 19 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า RMSE ของ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (ACS) ได้ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2}$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมด  
 $\hat{\theta}_i$  คือ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $i$   
 $\theta_i$  คือ ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $i$

แทนค่า

$$\begin{aligned} RMSE &= \sqrt{\frac{1}{1,000} \sum_{i=1}^{1,000} (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1,000} [(\hat{\theta}_1 - \theta_1)^2 + (\hat{\theta}_2 - \theta_2)^2 + (\hat{\theta}_3 - \theta_3)^2 + \dots + (\hat{\theta}_{1,000} - \theta_{1,000})^2]} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1,000} [(0.536 - 0.552)^2 + (0.146 - 0.151)^2 + ((-0.210) - (-0.280))^2 + \dots + (0.435 - 0.461)^2]} \\ &= 0.116 \end{aligned}$$

## ข.3 การคำนวณค่าความลำเอียงเฉลี่ย

การคำนวณค่าความลำเอียงเฉลี่ย (Average Bias) ดำเนินการโดยนำค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ( $\theta$ ) และค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ( $\hat{\theta}$ ) ที่ได้รับจากการศึกษาในสถานการณ์จำลอง (แสดงในตารางที่ ข-1) มาแทนค่าในสมการที่ 20 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความลำเอียงเฉลี่ยของ วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (ACS) ได้ดังนี้

$$Average\ Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมด  
 $\hat{\theta}_i$  คือ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบคนที่  $i$   
 $\theta_i$  คือ ค่าความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบคนที่  $i$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{Average Bias} &= \frac{1}{1,000} \sum_{i=1}^{1,000} (\hat{\theta}_i - \theta_i) \\ &= \frac{1}{1,000} [(\hat{\theta}_1 - \theta_1) + (\hat{\theta}_2 - \theta_2) + (\hat{\theta}_3 - \theta_3) + \dots + (\hat{\theta}_{1,000} - \theta_{1,000})] \\ &= \frac{1}{1,000} [(0.536 - 0.552) + (0.146 - 0.151) + ((-0.210) - (-0.280)) + \dots + \\ &\quad (0.435 - 0.461)] \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

ส่วนการคำนวณค่า RMSE และค่าความลำเอียงเฉลี่ยของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป  
 วิธีอื่น ๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

ภาคผนวก ค  
คลังข้อสอบจำลองของการศึกษาในสถานการณ์จำลอง  
การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

- ตาราง ค1. ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบในคลังข้อสอบจำลอง จำนวนการใช้ข้อสอบ และอัตราการ  
ใช้ข้อสอบ จากการศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วย  
คอมพิวเตอร์
- ค2. การคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ

### คลังข้อสอบจำลองที่ใช้ในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ ค1 ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบในคลังข้อสอบจำลอง จำนวนการใช้ข้อสอบ และอัตราการ  
ใช้ข้อสอบ จากการศึกษาในสถานการณ์จำลองการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
1	1.070	1.336	0.088	21	3	29	0.021	0.003	0.029
2	0.514	2.075	0.102	12	0	30	0.012	0	0.030
3	0.901	1.754	0.085	13	0	32	0.013	0	0.032
4	1.701	1.354	0.062	15	7	31	0.015	0.007	0.031
5	1.654	-2.201	0.142	2	1	28	0.002	0.001	0.028
6	2.146	1.565	0.245	20	3	33	0.020	0.003	0.033
7	1.448	-1.487	0.109	21	4	31	0.021	0.004	0.031
8	2.397	0.318	0.055	67	152	32	0.067	0.152	0.032
9	0.704	-1.858	0.257	4	0	35	0.004	0	0.035
10	1.221	1.031	0.141	21	0	32	0.021	0	0.032
11	0.911	2.073	0.288	3	0	33	0.003	0	0.033
12	1.592	-0.438	0.075	43	46	32	0.043	0.046	0.032
13	0.839	1.080	0.083	8	0	34	0.008	0	0.034
14	0.583	1.566	0.171	4	0	34	0.004	0	0.034
15	2.259	1.514	0.242	1	14	32	0.001	0.014	0.032
16	0.990	-2.398	0.052	1	0	31	0.001	0	0.031
17	1.730	0.371	0.256	27	21	35	0.027	0.021	0.035
18	0.993	-0.716	0.164	41	4	27	0.041	0.004	0.027
19	1.526	0.371	0.017	21	65	33	0.021	0.065	0.033
20	0.666	0.987	0.219	24	6	33	0.024	0.006	0.033
21	1.251	1.460	0.248	7	0	32	0.007	0	0.032
22	0.659	-2.094	0.300	8	0	36	0.008	0	0.036
23	2.216	1.405	0.222	12	14	34	0.012	0.014	0.034
24	0.845	2.499	0.257	15	0	34	0.015	0	0.034
25	1.138	-0.635	0.190	43	3	28	0.043	0.003	0.028
26	1.268	-2.419	0.294	4	0	30	0.004	0	0.030
27	2.212	-2.385	0.141	1	3	26	0.001	0.003	0.026
28	2.184	0.612	0.009	25	145	33	0.025	0.145	0.033
29	1.144	-2.181	0.070	0	0	26	0	0	0.026
30	0.517	-0.035	0.148	28	2	33	0.028	0.002	0.033
31	1.178	-0.493	0.116	41	1	30	0.041	0.001	0.030
32	0.550	0.187	0.275	37	4	27	0.037	0.004	0.027
33	1.698	-0.335	0.205	53	29	36	0.053	0.029	0.036
34	1.143	-0.446	0.080	83	2	31	0.083	0.002	0.031
35	2.467	-1.396	0.109	11	61	35	0.011	0.061	0.035
36	2.308	-0.565	0.074	29	146	32	0.029	0.146	0.032
37	1.056	-1.510	0.295	2	0	32	0.002	0	0.032
38	2.455	1.259	0.230	37	39	27	0.037	0.039	0.027
39	1.531	2.219	0.142	11	0	35	0.011	0	0.035



ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
40	2.097	-1.890	0.293	7	5	36	0.007	0.005	0.036
41	1.178	1.520	0.040	1	0	32	0.001	0	0.032
42	0.963	-0.768	0.142	26	118	36	0.026	0.118	0.036
43	2.366	-0.537	0.200	122	2	31	0.122	0.002	0.031
44	0.820	1.971	0.200	9	0	36	0.009	0	0.036
45	1.112	-1.241	0.141	26	0	34	0.026	0	0.034
46	0.803	1.947	0.112	1	1	36	0.001	0.001	0.036
47	1.926	-1.482	0.225	4	0	33	0.004	0	0.033
48	1.194	-1.523	0.036	1	18	26	0.001	0.018	0.026
49	1.886	-1.621	0.074	1	48	30	0.001	0.048	0.030
50	2.264	-1.471	0.225	6	37	26	0.006	0.037	0.026
51	2.347	0.146	0.171	44	38	34	0.044	0.038	0.034
52	1.828	-1.251	0.086	24	11	26	0.024	0.011	0.026
53	1.572	-1.637	0.138	9	24	27	0.009	0.024	0.027
54	2.485	1.329	0.056	18	10	26	0.018	0.010	0.026
55	0.541	2.460	0.144	15	0	27	0.015	0	0.027
56	0.618	0.764	0.116	12	28	34	0.012	0.028	0.034
57	1.723	-0.606	0.280	10	10	29	0.010	0.010	0.029
58	1.717	-0.246	0.248	117	3	31	0.117	0.003	0.031
59	1.148	1.935	0.011	10	0	34	0.010	0	0.034
60	1.084	-1.186	0.094	12	0	33	0.012	0	0.033
61	0.573	-1.005	0.189	55	1	30	0.055	0.001	0.030
62	1.480	0.345	0.272	40	9	35	0.040	0.009	0.035
63	1.067	0.677	0.284	42	17	33	0.042	0.017	0.033
64	1.783	-0.790	0.079	16	55	32	0.016	0.055	0.032
65	1.819	1.922	0.073	0	0	35	0	0	0.035
66	1.217	-1.896	0.152	3	23	33	0.003	0.023	0.033
67	2.488	-0.062	0.086	58	134	30	0.058	0.134	0.030
68	2.210	2.229	0.192	9	2	36	0.009	0.002	0.036
69	1.903	1.801	0.008	0	2	35	0	0.002	0.035
70	1.451	-0.926	0.171	15	95	26	0.015	0.095	0.026
71	2.426	-0.119	0.283	133	6	35	0.133	0.006	0.035
72	1.204	0.323	0.057	46	90	31	0.046	0.090	0.031
73	1.792	-0.979	0.260	8	6	31	0.008	0.006	0.031
74	1.441	-0.833	0.052	18	11	35	0.018	0.011	0.035
75	0.745	0.595	0.095	130	69	35	0.130	0.069	0.035
76	1.858	-2.431	0.114	1	1	36	0.001	0.001	0.036
77	1.260	-0.123	0.182	21	19	28	0.021	0.019	0.028
78	1.339	-0.761	0.010	22	3	28	0.022	0.003	0.028
79	0.697	-0.638	0.084	37	7	30	0.037	0.007	0.030
80	0.923	0.374	0.019	46	67	32	0.046	0.067	0.032
81	1.668	1.954	0.190	8	0	28	0.008	0	0.028
82	0.846	1.423	0.086	6	14	31	0.006	0.014	0.031

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
83	0.714	-0.829	0.114	25	7	32	0.025	0.007	0.032
84	1.246	-0.573	0.103	28	8	27	0.028	0.008	0.027
85	2.368	0.775	0.211	17	66	33	0.017	0.066	0.033
86	2.117	1.701	0.147	1	7	34	0.001	0.007	0.034
87	1.516	-1.513	0.086	4	5	36	0.004	0.005	0.036
88	0.876	-2.099	0.219	4	0	30	0.004	0	0.030
89	0.672	-2.313	0.005	2	0	35	0.002	0	0.035
90	0.791	-1.260	0.267	34	0	27	0.034	0	0.027
91	2.492	2.261	0.149	7	0	28	0.007	0	0.028
92	2.370	0.910	0.160	17	52	29	0.017	0.052	0.029
93	1.043	-0.999	0.165	9	3	34	0.009	0.003	0.034
94	2.075	-1.037	0.284	14	19	34	0.014	0.019	0.034
95	1.089	-0.798	0.090	30	7	31	0.030	0.007	0.031
96	1.254	1.207	0.148	44	0	26	0.044	0	0.026
97	1.940	1.387	0.188	11	5	29	0.011	0.005	0.029
98	1.614	-2.120	0.029	1	2	31	0.001	0.002	0.031
99	0.941	0.287	0.288	43	5	27	0.043	0.005	0.027
100	2.047	1.142	0.202	20	13	29	0.020	0.013	0.029
101	2.151	-1.490	0.228	3	23	36	0.003	0.023	0.036
102	2.122	-2.333	0.227	0	5	31	0	0.005	0.031
103	2.280	-1.469	0.055	19	51	29	0.019	0.051	0.029
104	2.045	0.862	0.182	51	41	31	0.051	0.041	0.031
105	2.451	-1.074	0.214	19	62	35	0.019	0.062	0.035
106	1.419	0.993	0.181	41	6	34	0.041	0.006	0.034
107	0.838	-0.001	0.245	15	4	30	0.015	0.004	0.030
108	1.598	-2.237	0.204	2	2	32	0.002	0.002	0.032
109	1.758	0.215	0.254	174	24	36	0.174	0.024	0.036
110	0.959	1.098	0.026	4	0	26	0.004	0	0.026
111	1.258	1.076	0.242	23	1	34	0.023	0.001	0.034
112	0.897	2.199	0.234	10	0	29	0.010	0	0.029
113	1.788	-0.621	0.203	13	23	28	0.013	0.023	0.028
114	0.863	-1.879	0.056	3	0	27	0.003	0	0.027
115	0.994	1.977	0.117	4	0	34	0.004	0	0.034
116	1.251	-0.573	0.053	27	21	36	0.027	0.021	0.036
117	2.213	-0.522	0.214	65	81	29	0.065	0.081	0.029
118	1.449	1.679	0.132	7	0	34	0.007	0	0.034
119	0.723	1.517	0.168	6	0	33	0.006	0	0.033
120	0.868	-2.182	0.201	7	0	32	0.007	0	0.032
121	2.315	-2.477	0.163	3	2	30	0.003	0.002	0.030
122	1.261	-0.304	0.059	61	49	26	0.061	0.049	0.026
123	1.248	-1.874	0.229	5	0	29	0.005	0	0.029
124	1.139	-1.696	0.294	11	0	29	0.011	0	0.029
125	1.146	-1.383	0.044	10	4	28	0.010	0.004	0.028

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
126	1.606	-1.524	0.043	1	5	30	0.001	0.005	0.030
127	0.906	2.113	0.255	9	0	34	0.009	0	0.034
128	1.418	0.086	0.117	104	15	32	0.104	0.015	0.032
129	2.179	1.341	0.147	16	25	30	0.016	0.025	0.030
130	1.581	-0.960	0.019	14	25	32	0.014	0.025	0.032
131	1.473	-0.818	0.086	17	15	33	0.017	0.015	0.033
132	2.303	-2.419	0.188	5	4	36	0.005	0.004	0.036
133	2.468	-0.599	0.100	21	124	33	0.021	0.124	0.033
134	1.605	-0.306	0.256	68	10	35	0.068	0.010	0.035
135	0.571	0.200	0.179	54	6	33	0.054	0.006	0.033
136	1.417	-1.367	0.004	8	8	36	0.008	0.008	0.036
137	2.305	-0.485	0.100	63	117	35	0.063	0.117	0.035
138	1.451	-0.133	0.238	12	6	36	0.012	0.006	0.036
139	0.573	2.208	0.022	2	0	31	0.002	0	0.031
140	1.689	-1.040	0.254	30	6	35	0.030	0.006	0.035
141	1.372	0.554	0.104	44	16	34	0.044	0.016	0.034
142	0.775	0.180	0.017	23	1	32	0.023	0.001	0.032
143	2.011	0.692	0.220	37	51	31	0.037	0.051	0.031
144	2.137	-2.143	0.016	1	6	35	0.001	0.006	0.035
145	1.402	-1.067	0.008	28	15	36	0.028	0.015	0.036
146	2.151	-1.219	0.144	47	36	34	0.047	0.036	0.034
147	1.481	-1.906	0.153	1	0	26	0.001	0	0.026
148	1.149	0.156	0.020	51	59	28	0.051	0.059	0.028
149	1.331	0.252	0.193	8	9	28	0.008	0.009	0.028
150	0.600	-1.081	0.170	3	0	33	0.003	0	0.033
151	2.051	-1.418	0.214	12	11	26	0.012	0.011	0.026
152	2.261	-0.579	0.295	12	57	26	0.012	0.057	0.026
153	0.959	2.185	0.050	13	0	27	0.013	0	0.027
154	1.620	-2.224	0.234	0	1	33	0	0.001	0.033
155	2.165	-0.939	0.221	29	45	28	0.029	0.045	0.028
156	2.442	2.404	0.280	12	0	28	0.012	0	0.028
157	1.100	-1.376	0.175	31	0	33	0.031	0	0.033
158	1.722	1.540	0.007	19	15	36	0.019	0.015	0.036
159	1.049	1.441	0.001	14	14	26	0.014	0.014	0.026
160	0.874	-0.248	0.220	64	5	32	0.064	0.005	0.032
161	2.246	0.066	0.147	82	91	33	0.082	0.091	0.033
162	1.454	1.738	0.132	4	2	36	0.004	0.002	0.036
163	0.620	1.155	0.052	10	8	36	0.010	0.008	0.036
164	2.233	-2.048	0.234	9	8	36	0.009	0.008	0.036
165	1.716	0.254	0.273	13	18	36	0.013	0.018	0.036
166	0.939	-2.189	0.119	8	0	35	0.008	0	0.035
167	1.890	1.918	0.177	3	3	36	0.003	0.003	0.036
168	2.471	-2.456	0.055	4	0	27	0.004	0	0.027

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
169	1.316	-0.930	0.113	12	14	29	0.012	0.014	0.029
170	1.903	0.943	0.233	31	14	32	0.031	0.014	0.032
171	1.875	1.751	0.298	11	2	29	0.011	0.002	0.029
172	1.094	-2.435	0.047	3	0	35	0.003	0	0.035
173	1.495	1.676	0.077	11	0	34	0.011	0	0.034
174	2.206	-0.859	0.145	63	70	32	0.063	0.07	0.032
175	0.995	0.240	0.140	28	5	33	0.028	0.005	0.033
176	1.950	1.257	0.198	2	8	26	0.002	0.008	0.026
177	2.001	-1.101	0.102	21	44	32	0.021	0.044	0.032
178	0.874	-1.442	0.059	9	0	34	0.009	0	0.034
179	0.989	2.055	0.192	12	0	33	0.012	0	0.033
180	0.502	-1.979	0.091	2	0	30	0.002	0	0.030
181	1.036	-1.121	0.196	14	0	34	0.014	0	0.034
182	1.632	1.077	0.122	24	6	34	0.024	0.006	0.034
183	1.314	1.712	0.045	4	6	30	0.004	0.006	0.030
184	1.617	1.616	0.137	23	0	36	0.023	0	0.036
185	0.915	-0.046	0.163	139	4	31	0.139	0.004	0.031
186	0.931	-1.862	0.201	8	0	29	0.008	0	0.029
187	2.054	-0.404	0.098	67	112	34	0.067	0.112	0.034
188	1.841	-0.384	0.201	148	33	36	0.148	0.033	0.036
189	2.220	-0.195	0.004	66	210	29	0.066	0.21	0.029
190	2.484	0.812	0.037	24	121	28	0.024	0.121	0.028
191	1.328	-0.782	0.050	13	119	34	0.013	0.119	0.034
192	2.184	-0.889	0.092	8	87	30	0.008	0.087	0.030
193	2.455	0.843	0.085	32	109	28	0.032	0.109	0.028
194	2.294	1.133	0.077	12	61	29	0.012	0.061	0.029
195	1.192	0.736	0.158	18	11	29	0.018	0.011	0.029
196	1.400	-1.339	0.125	40	0	36	0.040	0	0.036
197	1.206	1.850	0.193	2	0	36	0.002	0	0.036
198	2.186	-0.325	0.275	46	63	29	0.046	0.063	0.029
199	2.050	0.718	0.171	11	67	26	0.011	0.067	0.026
200	1.769	1.500	0.271	11	0	29	0.011	0	0.029
201	1.796	0.873	0.151	31	31	29	0.031	0.031	0.029
202	1.838	-0.620	0.176	52	31	29	0.052	0.031	0.029
203	1.556	-1.839	0.144	3	3	36	0.003	0.003	0.036
204	1.377	-0.016	0.268	90	3	27	0.090	0.003	0.027
205	1.438	-0.639	0.222	18	11	32	0.018	0.011	0.032
206	1.315	0.637	0.267	24	21	27	0.024	0.021	0.027
207	2.023	1.753	0.124	7	3	35	0.007	0.003	0.035
208	0.897	1.303	0.117	14	0	31	0.014	0	0.031
209	1.897	-2.443	0.083	1	2	35	0.001	0.002	0.035
210	2.096	-2.392	0.111	2	0	27	0.002	0	0.027
211	2.330	-1.611	0.208	10	18	31	0.010	0.018	0.031

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
212	0.873	-0.574	0.048	20	7	27	0.020	0.007	0.027
213	0.640	1.140	0.269	4	0	32	0.004	0	0.032
214	0.608	0.810	0.146	11	3	33	0.011	0.003	0.033
215	2.323	-2.060	0.082	0	11	35	0	0.011	0.035
216	1.499	-1.691	0.260	14	0	30	0.014	0	0.030
217	2.497	-0.889	0.100	7	125	28	0.007	0.125	0.028
218	2.256	0.938	0.270	28	36	30	0.028	0.036	0.030
219	1.730	-0.737	0.132	25	19	35	0.025	0.019	0.035
220	0.898	1.345	0.143	4	0	34	0.004	0	0.034
221	1.816	-2.060	0.177	1	2	33	0.001	0.002	0.033
222	1.956	-1.053	0.292	27	11	28	0.027	0.011	0.028
223	1.557	2.474	0.225	19	0	36	0.019	0	0.036
224	1.910	2.070	0.266	14	0	27	0.014	0	0.027
225	1.117	1.953	0.158	8	0	28	0.008	0	0.028
226	1.163	2.379	0.163	13	0	28	0.013	0	0.028
227	2.003	2.457	0.076	11	1	33	0.011	0.001	0.033
228	1.367	1.115	0.244	15	1	35	0.015	0.001	0.035
229	2.252	-0.029	0.206	66	89	32	0.066	0.089	0.032
230	1.407	-2.059	0.282	3	1	32	0.003	0.001	0.032
231	0.862	-1.369	0.283	34	0	35	0.034	0	0.035
232	1.875	-0.593	0.285	37	21	34	0.037	0.021	0.034
233	2.058	-1.796	0.110	11	12	27	0.011	0.012	0.027
234	2.319	0.332	0.074	22	123	28	0.022	0.123	0.028
235	2.428	0.969	0.133	11	60	33	0.011	0.060	0.033
236	2.100	-2.375	0.101	1	3	31	0.001	0.003	0.031
237	0.515	-0.609	0.285	13	4	28	0.013	0.004	0.028
238	2.165	2.325	0.244	11	1	35	0.011	0.001	0.035
239	0.907	2.261	0.293	8	0	33	0.008	0	0.033
240	1.543	1.902	0.005	6	1	31	0.006	0.001	0.031
241	1.403	-1.810	0.148	2	2	26	0.002	0.002	0.026
242	0.879	1.089	0.010	8	1	33	0.008	0.001	0.033
243	2.315	1.629	0.172	11	13	26	0.011	0.013	0.026
244	1.825	0.779	0.276	12	22	26	0.012	0.022	0.026
245	1.455	-2.184	0.160	2	1	33	0.002	0.001	0.033
246	1.590	0.773	0.103	24	20	31	0.024	0.020	0.031
247	0.892	-0.705	0.149	42	5	26	0.042	0.005	0.026
248	2.469	-1.594	0.299	3	28	28	0.003	0.028	0.028
249	2.017	-2.063	0.056	5	8	27	0.005	0.008	0.027
250	0.658	1.332	0.151	18	0	33	0.018	0	0.033
251	2.003	-2.406	0.293	2	6	31	0.002	0.006	0.031
252	1.177	-1.002	0.190	38	0	27	0.038	0	0.027
253	1.201	-1.189	0.141	26	0	31	0.026	0	0.031
254	2.200	-1.398	0.031	12	60	34	0.012	0.060	0.034

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
255	1.548	-1.758	0.045	0	4	33	0	0.004	0.033
256	0.615	-2.464	0.077	2	0	30	0.002	0	0.030
257	0.545	1.678	0.263	1	3	30	0.001	0.003	0.030
258	1.125	0.633	0.101	78	5	32	0.078	0.005	0.032
259	1.866	0.849	0.078	57	49	33	0.057	0.049	0.033
260	1.695	1.719	0.077	3	1	28	0.003	0.001	0.028
261	2.165	0.397	0.060	43	107	31	0.043	0.107	0.031
262	0.666	0.265	0.002	98	3	27	0.098	0.003	0.027
263	2.140	-2.313	0.034	1	6	30	0.001	0.006	0.030
264	1.350	0.171	0.033	61	24	30	0.061	0.024	0.030
265	2.414	-0.655	0.188	31	105	33	0.031	0.105	0.033
266	2.407	-1.044	0.238	2	53	29	0.002	0.053	0.029
267	1.306	-0.294	0.236	118	5	30	0.118	0.005	0.030
268	0.825	1.892	0.232	7	0	35	0.007	0	0.035
269	2.038	-2.452	0.013	6	3	31	0.006	0.003	0.031
270	0.818	1.860	0.235	8	0	33	0.008	0	0.033
271	1.459	-1.204	0.171	36	1	31	0.036	0.001	0.031
272	2.448	1.960	0.098	4	8	29	0.004	0.008	0.029
273	0.832	-0.923	0.192	40	5	26	0.040	0.005	0.026
274	2.285	-0.844	0.064	59	126	31	0.059	0.126	0.031
275	1.758	1.306	0.055	16	11	32	0.016	0.011	0.032
276	0.920	-1.514	0.259	17	0	27	0.017	0	0.027
277	0.795	-0.312	0.214	93	7	28	0.093	0.007	0.028
278	0.642	-1.376	0.150	19	0	34	0.019	0	0.034
279	0.832	-2.190	0.066	0	0	30	0	0	0.030
280	1.090	0.815	0.189	25	3	36	0.025	0.003	0.036
281	1.788	-0.287	0.230	16	37	34	0.016	0.037	0.034
282	1.199	-0.524	0.151	14	5	27	0.014	0.005	0.027
283	1.687	-0.881	0.255	20	8	28	0.020	0.008	0.028
284	2.239	-1.018	0.125	16	78	34	0.016	0.078	0.034
285	1.689	-1.801	0.244	2	3	29	0.002	0.003	0.029
286	1.278	2.433	0.013	14	0	31	0.014	0	0.031
287	1.115	-1.449	0.235	39	0	33	0.039	0	0.033
288	0.862	-0.586	0.060	32	3	35	0.032	0.003	0.035
289	1.052	-1.702	0.296	1	0	30	0.001	0	0.030
290	1.242	1.052	0.199	13	1	32	0.013	0.001	0.032
291	1.592	0.443	0.136	75	30	33	0.075	0.030	0.033
292	1.947	1.880	0.007	11	10	30	0.011	0.010	0.030
293	2.258	-1.089	0.102	33	82	34	0.033	0.082	0.034
294	2.025	-0.695	0.192	69	36	30	0.069	0.036	0.030
295	1.695	-0.082	0.147	10	41	33	0.010	0.041	0.033
296	0.758	-2.300	0.048	0	0	32	0	0	0.032
297	1.177	-2.423	0.281	1	0	26	0.001	0	0.026

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
298	1.166	0.409	0.078	50	9	34	0.050	0.009	0.034
299	1.000	-1.098	0.125	6	0	36	0.006	0	0.036
300	1.115	-0.806	0.143	49	4	35	0.049	0.004	0.035
301	1.319	-0.388	0.053	46	222	30	0.046	0.222	0.030
302	1.337	1.900	0.099	12	0	30	0.012	0	0.030
303	1.492	-1.612	0.178	0	3	34	0	0.003	0.034
304	2.177	0.384	0.029	46	146	28	0.046	0.146	0.028
305	2.495	-1.499	0.113	8	49	32	0.008	0.049	0.032
306	1.378	1.965	0.283	3	0	26	0.003	0	0.026
307	1.471	1.951	0.130	2	0	35	0.002	0	0.035
308	1.721	-1.047	0.082	12	28	36	0.012	0.028	0.036
309	1.970	-2.461	0.180	1	1	26	0.001	0.001	0.026
310	1.824	2.017	0.148	7	1	36	0.007	0.001	0.036
311	1.956	0.516	0.256	89	28	32	0.089	0.028	0.032
312	1.925	-0.560	0.163	8	56	28	0.008	0.056	0.028
313	2.121	-2.278	0.217	2	2	32	0.002	0.002	0.032
314	0.941	0.526	0.282	58	5	36	0.058	0.005	0.036
315	1.595	-1.629	0.290	2	0	26	0.002	0	0.026
316	1.648	-2.298	0.034	1	2	26	0.001	0.002	0.026
317	0.592	1.885	0.233	7	0	34	0.007	0	0.034
318	1.253	-1.904	0.099	7	1	29	0.007	0.001	0.029
319	2.068	0.434	0.015	49	125	31	0.049	0.125	0.031
320	1.213	1.610	0.148	6	0	34	0.006	0	0.034
321	0.950	0.095	0.155	95	5	31	0.095	0.005	0.031
322	0.576	-1.209	0.167	2	0	35	0.002	0	0.035
323	1.995	0.771	0.221	26	36	27	0.026	0.036	0.027
324	1.686	-1.996	0.12	6	3	28	0.006	0.003	0.028
325	1.844	1.294	0.078	8	9	26	0.008	0.009	0.026
326	1.547	-2.284	0.112	5	6	26	0.005	0.006	0.026
327	1.341	2.356	0.144	10	0	30	0.010	0	0.030
328	0.660	0.899	0.265	44	5	29	0.044	0.005	0.029
329	0.659	1.182	0.286	16	1	26	0.016	0.001	0.026
330	1.658	-0.154	0.202	40	28	36	0.040	0.028	0.036
331	2.323	-1.909	0.072	2	20	30	0.002	0.020	0.030
332	0.533	0.934	0.220	46	6	35	0.046	0.006	0.035
333	1.671	1.365	0.151	1	3	31	0.001	0.003	0.031
334	1.784	0.101	0.296	22	17	26	0.022	0.017	0.026
335	0.819	-1.930	0.136	1	0	27	0.001	0	0.027
336	1.291	1.080	0.033	23	78	30	0.023	0.078	0.030
337	0.706	-0.258	0.109	112	7	34	0.112	0.007	0.034
338	1.219	-0.327	0.076	66	5	36	0.066	0.005	0.036
339	2.266	-1.905	0.069	7	17	34	0.007	0.017	0.034
340	1.789	-1.414	0.130	7	12	29	0.007	0.012	0.029

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
341	2.295	2.148	0.103	5	2	31	0.005	0.002	0.031
342	1.201	-1.390	0.255	21	0	32	0.021	0	0.032
343	2.076	-0.557	0.240	86	49	25	0.086	0.049	0.025
344	1.535	-1.811	0.157	1	4	33	0.001	0.004	0.033
345	1.330	0.243	0.214	11	6	29	0.011	0.006	0.029
346	0.948	-0.361	0.252	88	4	28	0.088	0.004	0.028
347	0.538	-0.121	0.068	86	5	36	0.086	0.005	0.036
348	0.965	1.565	0.001	18	2	33	0.018	0.002	0.033
349	1.221	0.650	0.153	45	7	34	0.045	0.007	0.034
350	2.188	-1.753	0.146	5	17	32	0.005	0.017	0.032
351	2.221	0.922	0.107	7	68	32	0.007	0.068	0.032
352	2.230	-1.969	0.277	6	6	34	0.006	0.006	0.034
353	0.552	0.351	0.036	61	8	31	0.061	0.008	0.031
354	2.190	-0.994	0.013	26	92	33	0.026	0.092	0.033
355	1.886	1.364	0.006	17	39	36	0.017	0.039	0.036
356	2.475	1.498	0.198	12	17	33	0.012	0.017	0.033
357	2.236	-1.674	0.036	9	37	27	0.009	0.037	0.027
358	1.294	-1.845	0.222	9	0	30	0.009	0	0.030
359	0.889	2.031	0.146	5	0	33	0.005	0	0.033
360	1.619	-1.326	0.019	2	20	30	0.002	0.020	0.030
361	1.173	-1.560	0.100	10	0	35	0.010	0	0.035
362	0.945	2.425	0.020	11	0	30	0.011	0	0.030
363	2.089	1.802	0.049	14	14	35	0.014	0.014	0.035
364	0.640	-1.479	0.248	12	0	30	0.012	0	0.030
365	2.406	-1.413	0.055	7	58	31	0.007	0.058	0.031
366	2.222	-0.882	0.084	21	96	34	0.021	0.096	0.034
367	1.251	-0.128	0.168	34	11	32	0.034	0.011	0.032
368	2.352	-2.047	0.045	0	19	27	0	0.019	0.027
369	1.776	1.082	0.075	20	25	29	0.020	0.025	0.029
370	0.871	2.436	0.054	20	0	33	0.020	0	0.033
371	0.956	-0.730	0.143	16	4	34	0.016	0.004	0.034
372	0.689	-1.209	0.186	14	0	35	0.014	0	0.035
373	1.081	-0.702	0.032	35	3	28	0.035	0.003	0.028
374	0.834	1.059	0.032	5	0	32	0.005	0	0.032
375	1.006	1.624	0.14	9	0	29	0.009	0	0.029
376	2.484	0.968	0.104	15	81	29	0.015	0.081	0.029
377	1.727	0.558	0.119	9	40	32	0.009	0.040	0.032
378	2.281	1.972	0.070	6	7	27	0.006	0.007	0.027
379	1.329	-1.825	0.162	0	1	26	0	0.001	0.026
380	1.754	1.978	0.110	3	1	35	0.003	0.001	0.035
381	0.890	0.275	0.052	61	7	32	0.061	0.007	0.032
382	2.145	0.544	0.016	40	137	28	0.040	0.137	0.028
383	1.386	2.046	0.034	2	0	41	0.002	0	0.041



ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
384	2.476	-2.417	0.080	2	8	36	0.002	0.008	0.036
385	2.169	2.346	0.137	10	0	34	0.010	0	0.034
386	1.146	1.855	0.048	11	0	26	0.011	0	0.026
387	2.079	1.753	0.062	19	7	35	0.019	0.007	0.035
388	1.875	-1.233	0.028	19	33	29	0.019	0.033	0.029
389	0.744	0.789	0.022	24	9	33	0.024	0.009	0.033
390	1.328	-1.722	0.081	5	20	36	0.005	0.02	0.036
391	2.153	0.975	0.275	57	22	28	0.057	0.022	0.028
392	2.198	-0.068	0.143	17	107	33	0.017	0.107	0.033
393	1.031	-2.368	0.221	0	0	29	0	0	0.029
394	2.090	-1.700	0.141	7	18	29	0.007	0.018	0.029
395	1.109	-0.433	0.028	19	13	26	0.019	0.013	0.026
396	1.000	-1.640	0.009	4	0	35	0.004	0	0.035
397	0.837	2.061	0.112	3	0	27	0.003	0	0.027
398	0.713	1.607	0.224	5	0	33	0.005	0	0.033
399	0.602	0.825	0.095	20	6	28	0.020	0.006	0.028
400	1.924	-0.089	0.298	41	44	32	0.041	0.044	0.032
401	2.019	0.803	0.209	12	45	34	0.012	0.045	0.034
402	1.397	0.410	0.224	30	3	32	0.030	0.003	0.032
403	2.354	0.006	0.024	42	168	36	0.042	0.168	0.036
404	1.981	0.975	0.035	34	77	32	0.034	0.077	0.032
405	1.641	-0.230	0.011	45	81	46	0.045	0.081	0.046
406	0.785	2.019	0.238	6	0	36	0.006	0	0.036
407	0.557	-0.911	0.079	38	5	32	0.038	0.005	0.032
408	1.333	1.682	0.239	3	0	38	0.003	0	0.038
409	1.624	1.948	0.129	10	0	28	0.010	0	0.028
410	2.004	-2.321	0.046	1	5	35	0.001	0.005	0.035
411	0.781	-2.208	0.244	1	0	32	0.001	0	0.032
412	1.576	0.345	0.145	25	29	35	0.025	0.029	0.035
413	0.911	1.543	0.277	1	0	36	0.001	0	0.036
414	1.186	-2.359	0.166	2	0	28	0.002	0	0.028
415	1.376	0.837	0.217	34	9	33	0.034	0.009	0.033
416	0.514	-0.827	0.092	75	6	35	0.075	0.006	0.035
417	2.116	-0.638	0.053	31	113	28	0.031	0.113	0.028
418	0.507	2.494	0.281	14	4	28	0.014	0.004	0.028
419	1.385	1.470	0.062	18	1	26	0.018	0.001	0.026
420	1.450	1.218	0.292	25	1	31	0.025	0.001	0.031
421	0.683	-0.536	0.082	52	3	28	0.052	0.003	0.028
422	1.713	0.740	0.148	65	9	36	0.065	0.009	0.036
423	0.945	1.219	0.053	47	4	32	0.047	0.004	0.032
424	0.959	-1.421	0.272	24	0	34	0.024	0	0.034
425	0.546	2.041	0.244	11	0	33	0.011	0	0.033
426	2.156	-2.371	0.275	2	4	34	0.002	0.004	0.034

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
427	2.196	0.917	0.281	10	30	28	0.010	0.030	0.028
428	1.175	1.858	0.190	5	0	35	0.005	0	0.035
429	2.276	-2.432	0.067	2	3	34	0.002	0.003	0.034
430	1.320	0.226	0.275	36	4	31	0.036	0.004	0.031
431	0.684	-2.038	0.039	0	0	32	0	0	0.032
432	0.568	0.859	0.128	28	4	37	0.028	0.004	0.037
433	1.747	2.185	0.107	3	0	26	0.003	0	0.026
434	1.858	-1.249	0.297	22	8	28	0.022	0.008	0.028
435	1.272	-0.164	0.285	34	11	32	0.034	0.011	0.032
436	1.229	1.545	0.061	8	5	46	0.008	0.005	0.046
437	1.287	-0.656	0.090	31	8	35	0.031	0.008	0.035
438	1.118	-0.852	0.132	19	7	33	0.019	0.007	0.033
439	0.543	-1.130	0.177	5	0	32	0.005	0	0.032
440	0.646	-0.762	0.196	36	6	35	0.036	0.006	0.035
441	1.335	-2.304	0.140	1	3	32	0.001	0.003	0.032
442	1.178	1.918	0.190	10	0	35	0.010	0	0.035
443	1.705	-1.742	0.286	1	1	35	0.001	0.001	0.035
444	1.994	-1.926	0.191	7	1	32	0.007	0.001	0.032
445	0.596	0.233	0.275	104	5	44	0.104	0.005	0.044
446	1.374	2.196	0.157	5	0	32	0.005	0	0.032
447	2.003	-0.673	0.177	28	41	34	0.028	0.041	0.034
448	0.906	1.706	0.248	2	0	32	0.002	0	0.032
449	0.703	-0.320	0.282	76	6	36	0.076	0.006	0.036
450	1.335	1.077	0.122	21	10	38	0.021	0.010	0.038
451	0.618	0.045	0.277	5	5	36	0.005	0.005	0.036
452	0.762	0.257	0.176	43	9	27	0.043	0.009	0.027
453	1.365	0.132	0.265	176	5	31	0.176	0.005	0.031
454	0.510	-1.800	0.284	6	0	29	0.006	0	0.029
455	1.077	-0.206	0.203	20	6	31	0.020	0.006	0.031
456	2.465	-1.479	0.040	10	71	26	0.010	0.071	0.026
457	2.030	-0.053	0.067	29	120	31	0.029	0.120	0.031
458	2.204	0.567	0.131	18	78	32	0.018	0.078	0.032
459	2.162	0.383	0.179	26	70	33	0.026	0.070	0.033
460	0.728	0.420	0.273	114	4	28	0.114	0.004	0.028
461	2.036	0.888	0.269	34	28	26	0.034	0.028	0.026
462	2.105	-2.369	0.095	1	0	34	0.001	0	0.034
463	1.309	-1.688	0.122	10	3	32	0.010	0.003	0.032
464	0.848	-0.296	0.068	64	4	27	0.064	0.004	0.027
465	1.272	-1.491	0.267	1	0	34	0.001	0	0.034
466	1.318	-2.384	0.282	0	1	32	0	0.001	0.032
467	0.523	-1.711	0.296	11	0	35	0.011	0	0.035
468	1.994	1.905	0.049	9	4	26	0.009	0.004	0.026
469	1.332	-1.198	0.014	13	101	29	0.013	0.101	0.029

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ			จำนวนการใช้ข้อสอบ (ครั้ง)			อัตราการใช้ข้อสอบ		
	a	b	c	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS	วิธี MIC	วิธี HC-Ex	วิธี ACS
470	1.895	0.102	0.173	36	45	36	0.036	0.045	0.036
471	0.775	-2.003	0.258	5	0	26	0.005	0	0.026
472	0.985	-2.458	0.210	2	0	26	0.002	0	0.026
473	1.170	1.081	0.049	4	2	33	0.004	0.002	0.033
474	0.866	-0.155	0.211	60	4	28	0.060	0.004	0.028
475	0.916	-0.892	0.259	28	2	31	0.028	0.002	0.031
476	0.571	1.571	0.033	13	2	33	0.013	0.002	0.033
477	1.259	2.128	0.093	8	0	33	0.008	0	0.033
478	0.772	1.864	0.147	0	0	37	0	0	0.037
479	1.080	-0.454	0.038	32	2	31	0.032	0.002	0.031
480	2.214	-0.910	0.181	44	43	32	0.044	0.043	0.032
481	2.244	1.582	0.122	7	11	44	0.007	0.011	0.044
482	0.693	-2.237	0.178	1	0	34	0.001	0	0.034
483	0.589	2.010	0.078	11	0	34	0.011	0	0.034
484	1.372	2.291	0.064	13	0	35	0.013	0	0.035
485	2.102	-1.425	0.017	3	36	49	0.003	0.036	0.049
486	1.782	-1.689	0.046	2	6	41	0.002	0.006	0.041
487	2.362	-1.268	0.245	10	20	36	0.010	0.020	0.036
488	1.278	-1.335	0.283	8	0	35	0.008	0	0.035
489	1.796	-0.368	0.186	90	24	42	0.090	0.024	0.042
490	1.298	2.271	0.018	13	0	33	0.013	0	0.033
491	1.820	2.498	0.295	16	0	36	0.016	0	0.036
492	1.220	0.453	0.044	43	68	34	0.043	0.068	0.034
493	1.429	-2.197	0.164	0	0	33	0	0	0.033
494	1.131	1.477	0.145	14	0	47	0.014	0	0.047
495	2.291	-1.092	0.166	16	18	26	0.016	0.018	0.026
496	1.325	0.352	0.053	38	272	36	0.038	0.272	0.036
497	0.907	-1.943	0.285	1	0	28	0.001	0	0.028
498	0.840	2.161	0.188	12	0	34	0.012	0	0.034
499	0.918	-0.101	0.031	91	9	33	0.091	0.009	0.033
500	1.841	-1.537	0.083	7	0	35	0.007	0	0.035
Mean	1.479	-0.101	0.149	22.858	19.900	31.702			
SD	0.575	1.455	0.086	27.102	35.815	3.600			
จำนวนข้อสอบที่มีอัตราการใช้ข้อสอบ > 0.20				0	3	0			

## ค2. การคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ

การคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ ดำเนินการโดยหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนการใช้ข้อสอบหารด้วยจำนวนผู้สอบทั้งหมด โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ 21 ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการใช้ข้อสอบ} = \frac{\text{จำนวนการใช้ข้อสอบ}}{\text{จำนวนผู้สอบทั้งหมด}}$$

ยกตัวอย่างการคำนวณอัตราการใช้ข้อสอบ ของข้อสอบข้อที่ 1 ในการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด (ACS) ซึ่งข้อสอบข้อที่ 1 ถูกนำไปใช้ในการทดสอบทั้งหมด 21 ครั้ง จากผู้สอบทั้งหมด 1,000 คน ดังนั้น อัตราการใช้ข้อสอบของข้อสอบข้อที่ 1 คือ  $\frac{21}{1,000} = 0.02$

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการ  
คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคม  
สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี



## คำนำ

โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของ งานวิจัยเรื่องการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีอานานิคมมต ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัยเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต

ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกข้อสอบ

ระยะที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมตสำหรับการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี

ระยะที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสามารถของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์กับคะแนนรวมของผู้สอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ดังกล่าว จึงอยู่ในการดำเนินการวิจัยในระยะที่ 3 ซึ่งเป็นการทดสอบเนื้อหาส่วนหนึ่งของรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ในระดับปริญญาตรี ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อสอบทั้งหมดจากอาจารย์ประจำหลักสูตรภาษาอังกฤษ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ซึ่งครอบคลุมเนื้อหา 4 ด้าน คือ 1) ชนิดของคำ (Part of Speech) จำนวน 118 ข้อ 2) การใช้บริบทบ่งชี้เพื่อค้นหาความหมายของคำศัพท์ยาก (Using Context Clue) จำนวน 104 ข้อ 3) การเรียนรู้ความหมายคำศัพท์จากโครงสร้างของคำศัพท์ (Word Formations) จำนวน 107 ข้อ และ 4) การสรุปความ (Making Inferences) จำนวน 92 ข้อ รวมข้อสอบที่อยู่ในคลังข้อสอบทั้งสิ้นจำนวน 421 ข้อ โดยข้อสอบทุกข้อดังกล่าวผ่านการวิเคราะห์คุณภาพข้อสอบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory: IRT) เรียบร้อยแล้ว

โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี สามารถใช้ทดสอบได้ 2 ประเภทได้แก่ 1) การทดสอบแบบ CT 2) การทดสอบแบบ CAT-ACS และแบ่งการใช้งานโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin) 2) ส่วนของผู้สอบ (User)

นอกจากนี้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นดังกล่าว ยังสามารถปรับเปลี่ยนข้อสอบเพื่อทดสอบรายวิชาอื่น ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งรายละเอียดการใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ของโปรแกรมผู้พัฒนาโปรแกรมจะได้อธิบายในลำดับต่อไป และหากคู่มือการใช้โปรแกรมเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

รัชกฤษ ธนพัฒน์ดล

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมของผู้ดูแลระบบ.....1</li> <li style="padding-left: 20px;">รายการผู้ใช้งาน.....4</li> <li style="padding-left: 20px;">รายการวิชา.....6</li> <li style="padding-left: 20px;">รายการข้อสอบ.....8</li> <li style="padding-left: 20px;">จัดการแบบทดสอบ.....10</li> <li style="padding-left: 20px;">รายงานผลการทดสอบ.....13</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมของผู้สอบ.....17</li> <li style="padding-left: 20px;">การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS.....18</li> <li style="padding-left: 20px;">การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CT.....21</li> </ul>



## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	หน้าหลักของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมต.....1
2	หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมตสำหรับผู้ดูแลระบบ.....2
3	หน้าโปรแกรมเมื่อผู้ดูแลระบบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ.....2
4	หน้าหลักของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ดูแลระบบ..3
5	เมนูการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ.....3
6	หน้าโปรแกรมหลักรายการผู้ใช้งาน.....4
7	หน้าโปรแกรมของเมนูเพิ่มผู้ใช้งาน.....5
8	หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบจากประวัติการทำข้อสอบ.....6
9	หน้าโปรแกรมหลักรายการวิชา.....7
10	หน้าโปรแกรมเพิ่มวิชา.....7
11	หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบ.....8
12	หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบจากการค้นหา.....9
13	หน้าโปรแกรมการเพิ่มข้อมูลข้อสอบ.....9
14	หน้าโปรแกรมการจัดแบบทดสอบ.....10
15	หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบ.....11
16	หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบจากคลังข้อสอบ.....11
17	หน้าโปรแกรมรายละเอียดข้อมูลข้อสอบรายข้อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือก.....12
18	หน้าโปรแกรมรายละเอียดการสร้างแบบทดสอบ.....12
19	หน้าโปรแกรมรายการแบบทดสอบทั้งหมดที่สร้างสำเร็จ.....13
20	หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบ.....14
21	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....15
22	รายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....16
23	การพิมพ์ผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....16
24	หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือก ข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมตสำหรับผู้สอบ.....17
25	หน้าโปรแกรมเมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ.....17
26	หน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ.....18
27	หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....18
28	หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....19

### สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	19
30	การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CAT-ACS.....	20
31	หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CT.....	21
32	หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CT.....	21
33	หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CT.....	22
34	การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CT.....	22

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เกณฑ์ประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์.....	20
2	เกณฑ์เทียบระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์.....	23

## วิธีการใช้โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (CAT-ACS) สำหรับทดสอบ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี

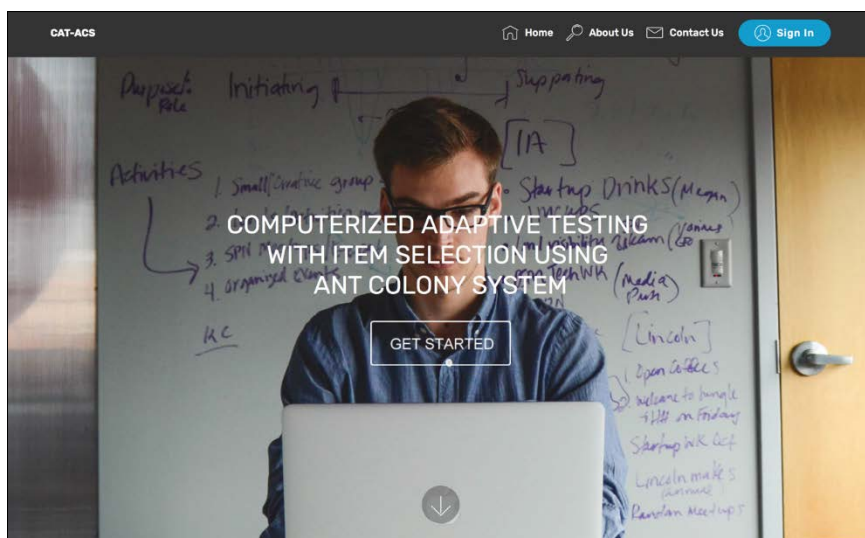
โปรแกรมแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin)
2. ส่วนของผู้สอบ (User)

ผลการพัฒนาโปรแกรมจะอธิบายถึงวิธีการใช้งานในส่วนของผู้ดูแลระบบในลำดับแรก หลังจากนั้นจึงอธิบายถึงวิธีการใช้งานในส่วนของผู้ทดสอบเป็นลำดับต่อไป

### 1.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมของผู้ดูแลระบบ

ผู้ดูแลระบบเปิดเข้าใช้งานโปรแกรมได้จาก <http://cat-acs.registration-master.com>  
เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้วจะปรากฏดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หน้าหลักของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

จากภาพที่ 1 เมื่อยังไม่มีการ Sign In เข้าสู่โปรแกรม หน้าหลักของโปรแกรมจะประกอบด้วยเมนูดังต่อไปนี้

- “Home” ใช้สำหรับกลับสู่หน้าโปรแกรมหลัก
- “About Us” ใช้สำหรับแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม
- “Contact Us” ใช้สำหรับแสดงข้อมูลช่องทางติดต่อผู้พัฒนาโปรแกรม

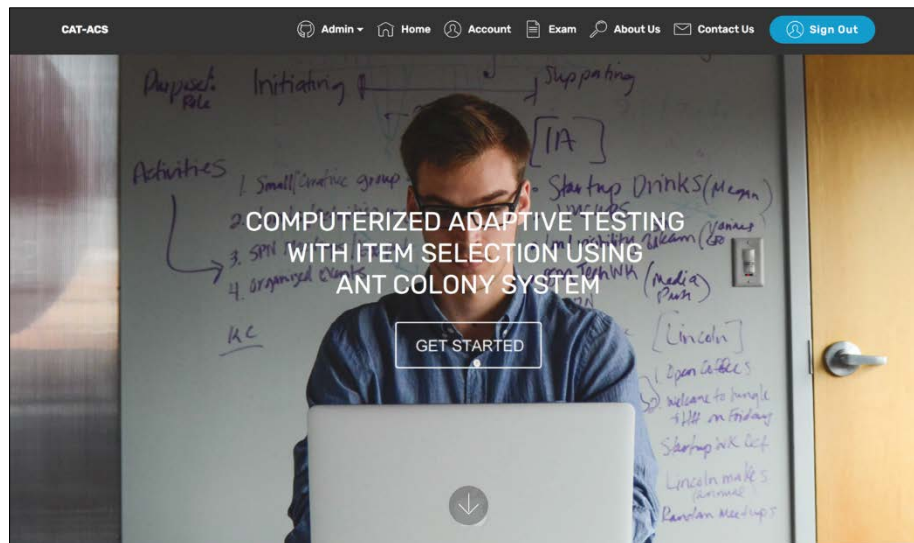
หากต้องการเข้าใช้งานโปรแกรมให้ผู้ดูแลระบบคลิกที่เมนู “Sign In” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 2 ผู้ดูแลระบบกรอก User Name และ Password ที่ผู้พัฒนาระบบได้กำหนดให้ และคลิก “Sign In” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 หน้าโปรแกรมเมื่อผู้ดูแลระบบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ

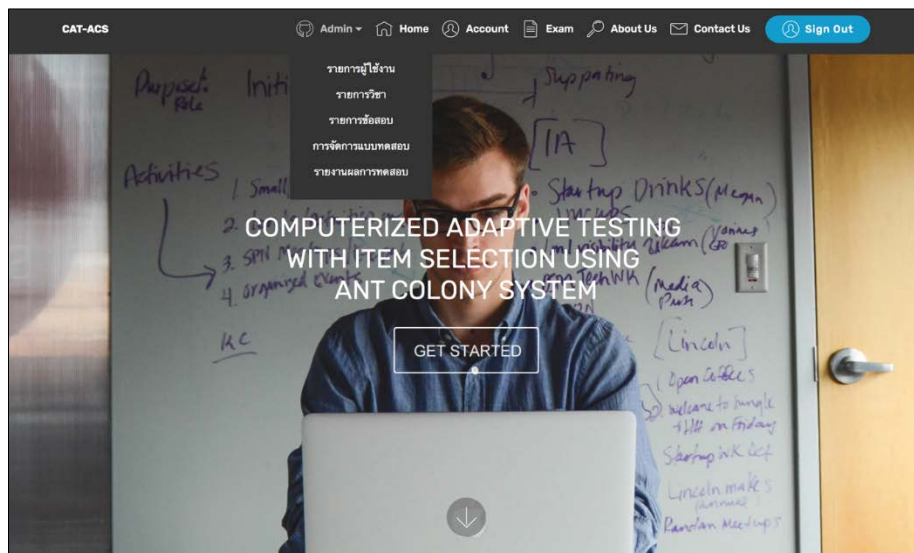
จากภาพที่ 3 เมื่อผู้ดูแลระบบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ โปรแกรมจะปรากฏแถบเมนู “Admin” ขึ้นที่หน้าหลักของโปรแกรม ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หน้าหลักของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 4 จะพบว่าหน้าหลักของโปรแกรมจะปรากฏเมนู เพิ่มจากเดิมอีก 3 เมนู ดังนี้ เมนู “Admin” ใช้สำหรับบริหารจัดการเกี่ยวกับ ข้อสอบ แบบทดสอบ และผู้สอบ, เมนู “Account” ใช้สำหรับเปลี่ยนรหัสผ่าน และเมนู “Exam” ใช้สำหรับทำข้อสอบ

เมนู “Admin” เป็นเมนูที่สำคัญที่สุดของผู้ดูแลระบบ ดังนั้นเมื่อคลิกเมนู “Admin” จะปรากฏดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เมนูการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

จากภาพที่ 5 เมนูบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบของผู้ดูแลระบบ ประกอบไปด้วย 5 เมนู หลักได้แก่

“รายการผู้ใช้งาน”  
 “รายการวิชา”  
 “รายการข้อสอบ”  
 “การจัดการแบบทดสอบ”  
 “รายงานผลการทดสอบ”

วิธีการใช้งานของแต่ละเมนูข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 1.1.1 รายการผู้ใช้งาน

เมนู“รายการผู้ใช้งาน”เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการ ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ในเรื่องของการเพิ่ม/ลบ/แก้ไข ข้อมูลผู้ดูแลระบบหรือผู้ทดสอบ การกำหนดสิทธิ์ การกำหนดรหัสผ่าน และดูประวัติการทำข้อสอบ เป็นต้น เมื่อคลิกเมนู“รายการผู้ใช้งาน”โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 6

#	สิทธิ์	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	สาขาวิชา	คณะ	มหาวิทยาลัย	ประวัติการทำข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
1	User	59192234	นันทวัน ชันดร	บริหารกิจการการัน	การัน		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:37	แก้ไข ลบ ลบถาวร
2	Administrator	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	วิศวกรรมศาสตร์		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 21:40	แก้ไข ลบ ลบถาวร
3	User	59192231	กษิตศ พันนาคร	บริหารกิจการการัน	การัน		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:33	แก้ไข ลบ ลบถาวร
4	User	59192257	กษิตศ แก้วดิษฐ์	บริหารกิจการการัน	การัน		ดูประวัติการทำข้อสอบ	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	26/08/2018 17:58	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 6 หน้าโปรแกรมรายการผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 6 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“รายการผู้ใช้งาน”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

1) เมนู“ค้นหา”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“สิทธิ์” (Administrator หรือ User)

“ชื่อ-นามสกุล” (ชื่อ-นามสกุลของผู้สอบ)

“สาขาวิชา” (สาขาวิชาของผู้สอบ)

“คณะ” (คณะของผู้สอบ)

“สถานะ” (ใช้งาน, ร้าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร้าง”หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยัง

ไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ “ลบ” หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร

2) เมนู “**เพิ่มผู้ใช้งานใหม่**” ใช้สำหรับเพิ่มผู้ใช้งานโปรแกรมทั้ง ผู้ดูแลระบบ/ผู้สอบ เมื่อคลิกเมนู “**เพิ่มผู้ใช้งานใหม่**” ในภาพที่ 6 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 หน้าโปรแกรมของเมนูเพิ่มผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 7 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลให้ครบทุกช่องดังตัวอย่างในภาพดังกล่าว เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู “**บันทึก**” ซึ่งเมื่อคลิกบันทึกแล้ว ให้คลิก เมนู “**กลับ**” และโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 6 อีกครั้งพร้อมทั้งแสดงข้อมูลของผู้ใช้งานโปรแกรมตามที่บันทึกไว้

3) “**ดูประวัติการทำข้อสอบ**” จากภาพที่ 6 เมนูหลักรายการผู้ใช้งาน สามารถดูประวัติการทำข้อสอบได้ โดยคลิกที่ ชื่อความในตารางในคอลัมน์ “**ประวัติการทำข้อสอบ**” ซึ่งจะสามารถดูได้เฉพาะรายการของผู้ใช้โปรแกรมที่เคยทำข้อสอบแล้วเท่านั้น เมื่อคลิกแล้วจะปรากฏดังภาพที่ 8



CAT-ACS Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

### รายงานผลการทดสอบ

ปีที่ทดสอบ: -- ทั้งหมด -- : วิชา: -- ทั้งหมด -- : ประเภทแบบทดสอบ: -- ทั้งหมด -- : ชื่อแบบทดสอบ:

รหัส:  ชื่อ-นามสกุล:  ค้นหา

จำนวนรายการตามเงื่อนไขที่เลือกแสดง 06 รายการ

#	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	วิชา	ชื่อแบบทดสอบ	วันที่เข้าสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	แบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบที่ทำได้ทั้งหมด	คะแนนรวม	ค่าประมาณความสามาร	ระดับความสามาร	ผลสอบ
1	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	04/08/2018	50 : 39 : 7	CT	40	7	N/A	Very Low	สอบเสร็จแล้ว แสดง
2	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	08/08/2018	0 : 1 : 56	CAT-ACS	20	20	1.9814	High	สอบเสร็จแล้ว แสดง
3	56810004	รัชกฤษ ธนพัฒนผล	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	15/08/2018	49 : 54 : 12	CAT-ACS	17	5	-0.2873	Normal	สอบเสร็จแล้ว แสดง

ภาพที่ 8 หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบจากประวัติการทำข้อสอบ

จากภาพที่ 8 รายละเอียดของหน้าโปรแกรมนี้จะอธิบายโดยละเอียดอีกครั้งในเมนู“รายงานผลการทดสอบ”

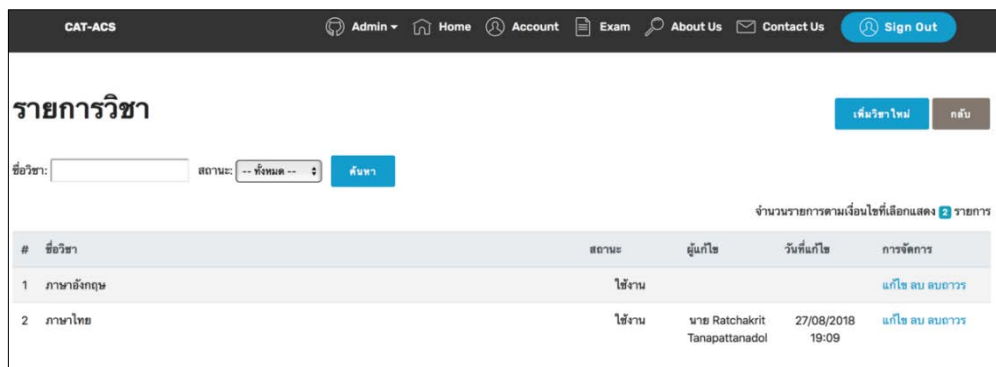
4) เมนู“**แก้ไข ลบ ลบถาวร**”สามารถอธิบายความแตกต่างได้ดังนี้  
เมื่อคลิก“**แก้ไข**”โปรแกรมจะแสดงหน้าจอตั้งภาพที่ 7 อีกครั้งเพื่อให้แก้ไขข้อมูลและคลิก “**บันทึก**”

เมื่อคลิก“**ลบ**”โปรแกรมจะยังไม่ลบข้อมูลผู้ใช้งานที่ต้องการลบออกจากโปรแกรม แต่จะแสดงสถานะในตารางผู้ใช้งานว่า“**ลบ**”

เมื่อคลิก“**ลบถาวร**”โปรแกรมจะลบข้อมูลผู้ใช้งานที่ต้องการลบออกจากโปรแกรมทันที

#### 1.1.2 รายการวิชา

เมนู“**รายการวิชา**”เป็นเมนูที่ใช้ในการเพิ่มวิชาที่ใช้การทดสอบ เมื่อคลิกเมนู“**รายการวิชา**” (ในภาพที่ 5) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 9



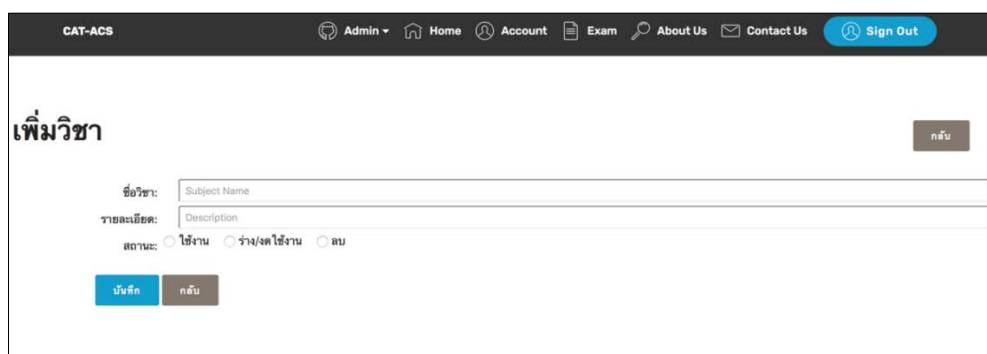
ภาพที่ 9 หน้าโปรแกรมรายการวิชา

จากภาพที่ 9 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“รายการวิชา”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้  
1) เมนู“ค้นหา”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรายการวิชาที่ใช้ทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“ชื่อวิชา” (ชื่อวิชาที่ใช้ในการทดสอบ)

“สถานะ” (ใช้งาน, ร้าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน” หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร้าง” หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยังไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ” หมายถึง ผู้ดูแลระบบ/ผู้ทดสอบ ที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร

2) เมนู“เพิ่มวิชาใหม่”ใช้สำหรับเพิ่มวิชาใหม่ในการทดสอบ เมื่อคลิกเมนู “เพิ่มวิชาใหม่”ในภาพที่ 9 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 10

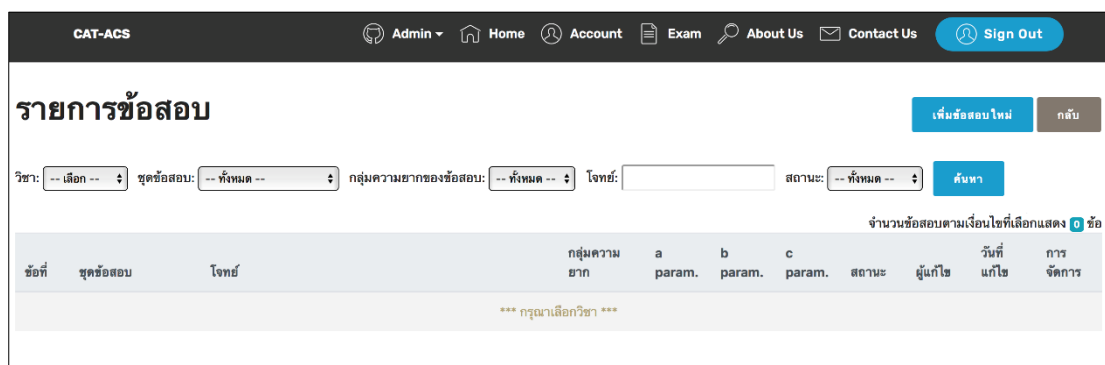


ภาพที่ 10 หน้าโปรแกรมเพิ่มวิชา

จากภาพที่ 10 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูล ชื่อวิชา และรายละเอียดวิชา เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู“บันทึก”ซึ่งเมื่อคลิกบันทึกแล้ว ให้คลิก เมนู“กลับ”และโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 9 อีกครั้งพร้อมทั้งแสดงข้อมูลรายการวิชาตามที่บันทึกไว้

### 1.1.3 รายการข้อสอบ

เมนู“**รายการข้อสอบ**”เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการข้อสอบที่ใช้ทดสอบ ซึ่งเมนูนี้ จะแสดงรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลทั้งหมด รวมถึงการเพิ่มข้อสอบใหม่ การแก้ไข และการลบข้อสอบเป็นต้น เมื่อคลิกเมนู“**รายการข้อสอบ**” (ในภาพที่ 5) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบ

จากภาพที่ 11 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“**รายการข้อสอบ**”ประกอบด้วยเมนูย่อย ดังนี้

- 1) เมนู“**ค้นหา**”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้
  - “วิชา”(วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)
  - “ชุดข้อสอบ”(กรณีวิชาที่ทดสอบมีข้อสอบหลายชุด)
  - “กลุ่มความยากของข้อสอบ” (5 กลุ่ม คือ ง่ายมาก ง่าย ปานกลาง ยาก ยากมาก)
  - “โจทย์”(รายการข้อคำถามของข้อสอบ)
  - “สถานะ” (ใช้งาน, ร่าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน” หมายถึง รายการข้อสอบที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร่าง” หมายถึง รายการข้อสอบที่กรอกข้อมูลเก็บในระบบแต่ยังไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ” หมายถึง รายการข้อสอบที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร
 เมื่อคลิก“**ค้นหา**”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 12

ข้อที่	ชุดข้อสอบ	โจทย์	กลุ่มความยาก	a param.	b param.	c param.	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
1	1. Part of Speech	Jerry <b>leisurely</b> ate his lunch, and then took a long nap. (1) noun (2) verb (3) adverb (Correct!) (4) adjective	ยากมาก	1.0980	1.5130	0.0640	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:23	แก้ไข ลบ
2	1. Part of Speech	When he's told to clean his bedroom, the little boy hides in the <b>tool</b> shed. (1) pronoun (2) adjective (Correct!) (3) adverb (4) noun	ยาก	1.5410	1.1650	0.0540	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:23	แก้ไข ลบ
3	1. Part of Speech	Carey <b>likes</b> to sculpt using clay as a medium. (1) verb (Correct!) (2) adverb (3) adjective (4) pronoun	ง่าย	1.9440	-1.4790	0.0420	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	28/07/2018 19:24	แก้ไข ลบ

ภาพที่ 12 หน้าโปรแกรมรายการข้อสอบจากการค้นหา

จากภาพที่ 12 รายการข้อสอบที่ปรากฏสามารถแก้ไขหรือลบได้ โดยการคลิกที่“แก้ไข/ลบ”ทำรายการข้อมูลข้อสอบข้อนั้น ๆ

2) เมนู“เพิ่มข้อสอบใหม่”ใช้สำหรับเพิ่มรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบ เมื่อคลิกเมนู“เพิ่มข้อสอบใหม่”ในภาพที่ 12 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 13

เพิ่มข้อสอบ

วิชา:  ชุดข้อสอบ:  กลุ่มความยากของข้อสอบ:

โจทย์:

คำอธิบายคำตอบข้อ 1:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำอธิบายคำตอบข้อ 2:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำอธิบายคำตอบข้อ 3:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

คำอธิบายคำตอบข้อ 4:   เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

a parameter:

b parameter:

c parameter:

สถานะ:  ใช้งาน  วาง/ลบใช้งาน  ลบ

ภาพที่ 13 หน้าโปรแกรมการเพิ่มข้อมูลข้อสอบ

จากภาพที่ 13 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลรายละเอียดของข้อสอบให้ครบทุกช่อง ได้แก่ ชื่อวิชา, ชุดข้อสอบ, กลุ่มความยากของข้อสอบ, โจทย์ข้อสอบ, ข้อมูลตัวเลือกข้อสอบ, คำตอบที่ถูกต้อง และ ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว ต้องกำหนดสถานะของผู้ใช้งานว่าจะให้อยู่ในสถานะใด ตามนิยามของสถานะที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากนั้นให้คลิกเมนู“**บันทึก**” และคลิก“**กลับ**”โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 12 อีกครั้ง

### 1.1.3 จัดการแบบทดสอบ

เมนู“**จัดการแบบทดสอบ**”เป็นเมนูที่ใช้ในการบริหารจัดการประเภทของการทดสอบ (CT/CAT-ACS) ซึ่งเมนูจัดการแบบทดสอบนี้ สามารถเลือกข้อสอบรายข้อจากคลังข้อสอบ (ระบบฐานข้อมูล) แล้วนำไปจัดชุดแบบทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบแต่ละประเภทได้ เมื่อคลิกเมนู“**จัดการแบบทดสอบ**” (ในภาพที่ 5) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 14

ปี	วิชา	ประเภทแบบทดสอบ	ชื่อแบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ร่าง/จัดทำ งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:58	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:55	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018 <small>ครั้งที่ ปี 2018 วิชา ภาษาอังกฤษ แบบทดสอบ CT ชื่อ ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018</small>	381	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:57	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ภาษาอังกฤษ	5	ลบ	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 20:28	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 14 หน้าโปรแกรมการจัดการแบบทดสอบ

จากภาพที่ 14 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“**จัดการแบบทดสอบ**”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

- 1) เมนู“**ค้นหา**”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบ ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้
  - “ปีที่ทดสอบ” (ปี ค.ศ.ที่ใช้ในการทดสอบ)
  - “วิชา” (วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)
  - “ประเภทการทดสอบ” (ประเภทของการทดสอบ CT/CAT-ACS)
  - “ชื่อแบบทดสอบ” (ชื่อแบบทดสอบที่เคยใช้ทดสอบ)
  - “สถานะ” (ใช้งาน, ร่าง, ลบ) ซึ่ง สถานะ“ใช้งาน” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน, สถานะ“ร่าง” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่สร้างขึ้นและจัดเก็บในระบบแต่ยัง

ไม่ถูกใช้งานในปัจจุบัน, สถานะ“ลบ” หมายถึง รายการแบบทดสอบที่ถูกลบออกจากระบบแต่ยังไม่ถูกลบถาวร เมื่อคลิก“ค้นหา”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 14 ที่แสดงแล้วข้างต้น

2) เมนู“สร้างแบบทดสอบใหม่”ใช้สำหรับสร้างแบบทดสอบที่ใช้ทดสอบ เมื่อคลิกเมนู“สร้างแบบทดสอบใหม่” ในภาพที่ 14 ด้านบนขวา จะปรากฏหน้าโปรแกรมดังภาพที่ 15

CAT-ACS

Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

### สร้างแบบทดสอบ

ปีทดสอบ:

วิชา:

ประเภทการทดสอบ:

ชื่อแบบทดสอบ:

สร้าง กลับ

CAT-ACS  
พัฒนาโดย นายวิรัชช วัฒนผล  
E-mail: tonysocuteratcha@gmail.com Tel: 0819889183 Line Id: tonysocute  
© Copyright 2018 CAT-ACS - All Rights Reserved

ภาพที่ 15 หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบ

จากภาพที่ 15 ผู้ดูแลระบบต้องกรอกข้อมูลรายละเอียดของแบบทดสอบให้ครบทุกช่อง เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว จากนั้นให้คลิกเมนู“สร้าง”โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 16

CAT-ACS

Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

### สร้างแบบทดสอบ

กลับ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CT

ชื่อแบบทดสอบ: ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสาร

สถานะ: รามบุคใช้จริง

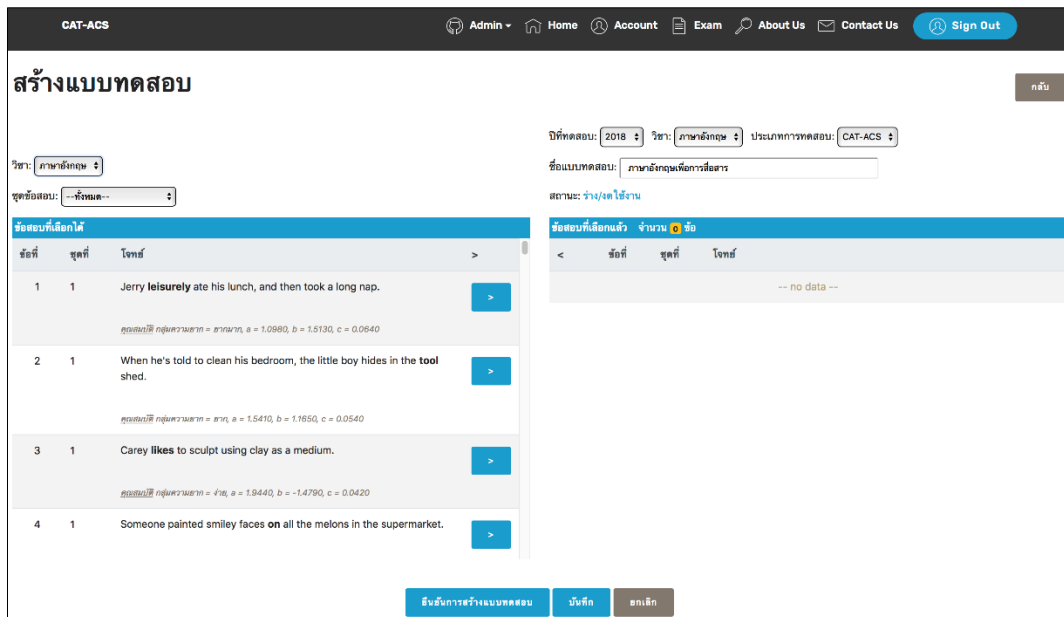
ข้อสอบที่เลือกได้		
ข้อที่	ชุดที่	โจทย์
*** กรุณาเลือกวิชา ***		

ข้อสอบที่เลือกแล้ว จำนวน 0 ข้อ			
<	ข้อที่	ชุดที่	โจทย์
-- no data --			

ยืนยันการสร้างแบบทดสอบ บันทึก ยกเลิก

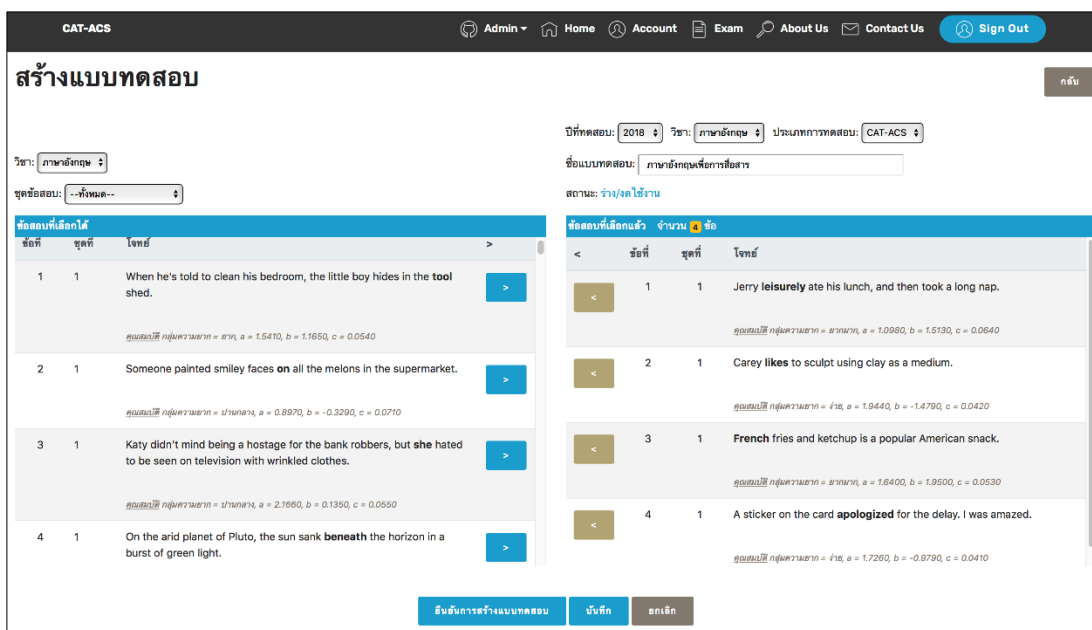
ภาพที่ 16 หน้าโปรแกรมการสร้างแบบทดสอบจากคลังข้อสอบ

จากภาพที่ 16 ให้คลิกเลือก“วิชา”, “ชุดข้อสอบ” โปรแกรมจะแสดงข้อมูลข้อสอบรายข้อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือกดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 หน้าโปรแกรมแสดงรายละเอียดข้อมูลข้อสอบรายชื่อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือก

จากภาพที่ 17 ด้านซ้ายของโปรแกรมคือ รายการข้อมูลของข้อสอบรายชื่อจากคลังข้อสอบตามเงื่อนไขที่เลือก จากนั้นให้ทำการเลือกข้อสอบรายชื่อทางด้านซ้ายของโปรแกรม นำไปจัดชุดแบบทดสอบที่กำหนดไว้ทางด้านขวาของโปรแกรม โดยคลิกเลือกที่ เครื่องหมาย “>” ทำรายการข้อสอบข้อนั้น ๆ ตัวอย่างผลลัพธ์ของโปรแกรมแสดงได้ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 หน้าโปรแกรมรายละเอียดการสร้างแบบทดสอบ

จากภาพที่ 18 หากต้องการลบข้อสอบที่นำมาจัดชุดแบบทดสอบทางด้านขวาของโปรแกรมออก ให้คลิกที่ เครื่องหมาย “<” หน้ารายการข้อสอบข้อนั้น ๆ ในกรณีที่ได้แบบทดสอบเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกเลือก เมนู ดังต่อไปนี้

เมนู “**ยืนยันการสร้างแบบทดสอบ**” เมื่อต้องการใช้แบบทดสอบชุดนี้ทำการทดสอบทันที และอยู่ในสถานะ “ใช้งาน”

เมนู “**บันทึก**” เมื่อต้องบันทึกแบบทดสอบชุดนี้ไว้ในโปรแกรมก่อนเพื่อนำมาใช้ทดสอบภายหลัง และอยู่ในสถานะ “ร่าง/งดใช้งาน”

เมนู “**ยกเลิก**” เมื่อต้องการยกเลิกการจัดแบบทดสอบ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 19

The screenshot shows a web application interface for managing exam sets. At the top, there is a navigation bar with 'Admin', 'Home', 'Account', 'Exam', 'About Us', 'Contact Us', and 'Sign Out' buttons. The main heading is 'รายการแบบทดสอบ' (Exam Set List). Below the heading, there are search filters for 'ปีทดสอบ' (Exam Year), 'วิชา' (Subject), 'ประเภทการทดสอบ' (Exam Type), 'ชื่อแบบทดสอบ' (Exam Set Name), and 'สถานะ' (Status). A 'ค้นหา' (Search) button is also present. The table below lists the exam sets with columns for Year, Subject, Exam Type, Exam Set Name, Number of Questions, Status, User, Date/Time, and Action.

ปี	วิชา	ประเภทแบบทดสอบ	ชื่อแบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบ	สถานะ	ผู้แก้ไข	วันที่แก้ไข	การจัดการ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ร่าง/งดใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:58	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CT	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018	40	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:55	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018 <small>สร้างชุด ปี 2018 วิชา ภาษาอังกฤษ แบบทดสอบ CT คือ ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018</small>	381	ใช้งาน	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	12/08/2018 16:57	แก้ไข ลบ
2018	ภาษาอังกฤษ	CAT-ACS	ภาษาอังกฤษ	5	ลบ	นาย Ratchakrit Tanapattanadol	13/08/2018 20:28	แก้ไข ลบ ลบถาวร

ภาพที่ 19 หน้าโปรแกรมแสดงรายการแบบทดสอบทั้งหมดที่สร้างสำเร็จ

จากภาพที่ 19 รายการแบบทดสอบที่จัดขึ้นครั้งล่าสุดจะแสดงรายการต่อต้านท้ายของรายการแบบทดสอบที่จัดไว้ทั้งหมด นอกจากนี้รายการแบบทดสอบสามารถแก้ไขหรือลบได้ โดยการคลิกที่ “**แก้ไข/ลบ**” ด้านท้ายของแต่ละรายการแบบทดสอบ

#### 1.1.4 รายงานผลการทดสอบ

เมนู “**รายงานผลการทดสอบ**” เป็นเมนูที่ใช้ในการแสดงรายการผลการทดสอบของผู้สอบรายบุคคล ทุกประเภทของการทดสอบ (CT/CAT-ACS) เมื่อคลิกเมนู “**รายงานผลการทดสอบ**” (ในภาพที่ 5) โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 20



#	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	วิชา	ชื่อแบบทดสอบ	วันที่เข้าสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	แบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบที่ทำได้ทั้งหมด	คะแนนรวม	ค่าประมาณความสามารถ	ระดับความสามารถ	ผลสอบ
1	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	04/08/2018	50 : 39 : 7	CT	40	7	N/A	Very Low	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
2	56810003	Rachakrit Tanapattanadol	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	08/08/2018	0 : 1 : 56	CAT-ACS	20	20	1.9814	High	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ
3	56810004	รัชกฤช ธนพัฒนกุล	ภาษาอังกฤษ	ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเขียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018	15/08/2018	49 : 54 : 12	CAT-ACS	17	5	-0.2873	Normal	สอบเสร็จแล้ว ผลสอบ

ภาพที่ 20 หน้าโปรแกรมรายงานผลการทดสอบ

จากภาพที่ 20 หน้าโปรแกรมหลักของเมนู“รายงานผลการทดสอบ”ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

1) เมนู“ค้นหา”เป็นการค้นหารายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลการทดสอบของผู้ทดสอบรายบุคคล ซึ่งโปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลดังกล่าวตามคำสืบค้นได้ดังนี้

“ปีที่ทดสอบ” (ปี ค.ศ.ที่ใช้ในการทดสอบ)

“วิชา” (วิชาที่เคยใช้ทดสอบ)

“ประเภทแบบทดสอบ” (CT/CAT-ACS)

“ชื่อแบบทดสอบ” (ชื่อแบบทดสอบที่ใช้ทดสอบ)

“รหัส” (รหัสผู้สอบ)

“ชื่อ-นามสกุล” (ชื่อ-นามสกุลผู้สอบ)

เมื่อคลิก“ค้นหา”แล้วโปรแกรมจะปรากฏตัวอย่างดังภาพที่ 20 ที่แสดงข้างต้น นอกจากนี้แต่ละรายการผลการทดสอบสามารถดูรายละเอียดผลการทดสอบ ได้โดยการคลิกที่“ผลสอบ”ด้านท้ายรายการผลการทดสอบ ซึ่งการรายงานผลสอบประเภท CAT-ACS และ CT โปรแกรมจะแสดงหน้าจอรายงานผลสอบคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยคือ การทดสอบประเภท CT จะไม่รายงานค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ตัวอย่างเช่นเมื่อคลิก“ผลสอบ” และเลือกการทดสอบประเภท CAT-ACS โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 21

ข้อที่	ชื่อข้อ	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	5	100.00
2	Using Context Clues	5	5	100.00
3	Word Formation	5	5	100.00
4	Making Inferences	5	5	100.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>20</b>	<b>100.00</b>

ภาพที่ 21 หน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 21 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้ดูแลระบบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“**รายละเอียดผลการทดสอบ**” ใช้สำหรับดูรายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อของผู้สอบ ดังภาพที่ 22

เมนู“**พิมพ์**” ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบรายผู้สอบ ดังภาพที่ 23

เมนู“**ลบถาวร**” ใช้สำหรับลบผลการทดสอบ

CAT-ACS Admin Home Account Exam About Us Contact Us Sign Out

## รายละเอียดผลการทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS  
 ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อศึกษาระดับปริญญาตรี ปี 2018  
 จำนวนข้อทั้งหมด 20 ข้อ, จำนวนข้อที่ผ่านแล้ว 20 ข้อ  
 เวลาที่ใช้ทำข้อสอบ 08/08/2018 20:03 ถึง 08/08/2018 20:05  
 จำนวนข้อที่ทำถูก 20 ข้อ

ข้อที่ 1. He has become a new person since he left her.  
 1. verb (CORRECT)  
 2. adverb  
 3. noun  
 4. preposition  
 คำถูก  
 $v = 0.6992, ability = 0.5277$

ข้อที่ 2. I feel great sympathy for anyone who loses his or her job.  
 1. pity (CORRECT)  
 2. hatred  
 3. enmity  
 4. hostility  
 คำถูก  
 $v = 0.5297, ability = 0.8241$

ภาพที่ 22 รายละเอียดผลการทำข้อสอบแต่ละข้อรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 22 ผู้ดูแลระบบสามารถดูรายละเอียดการทำแบบทดสอบรายข้อของผู้สอบแต่ละคนได้ว่าแบบทดสอบข้อใดผู้สอบตอบถูกหรือผิด

### รายงานผลการทดสอบ

ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS  
 ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อศึกษาระดับปริญญาตรี ปี 2018

Student Name	: Ratchakrit Tanapattanasadol	Student No.	: 56810003
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
Date	: 08/08/2018	Time	: 0 Hours 1 Minutes 56 Seconds
Testing	: 20 Items	Correct	: 20
Ability Estimate	: 1.9814	Ability Level	: High

ข้อที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	เปอร์เซ็นต์
1	Part of Speech	5	5	100.00
2	Using Context Clues	5	5	100.00
3	Word Formation	5	5	100.00
4	Making Inferences	5	5	100.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>20</b>	<b>100.00</b>

ภาพที่ 23 การพิมพ์ผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 23 ผู้ดูแลระบบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายคนได้

## 1.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมของผู้สอบ

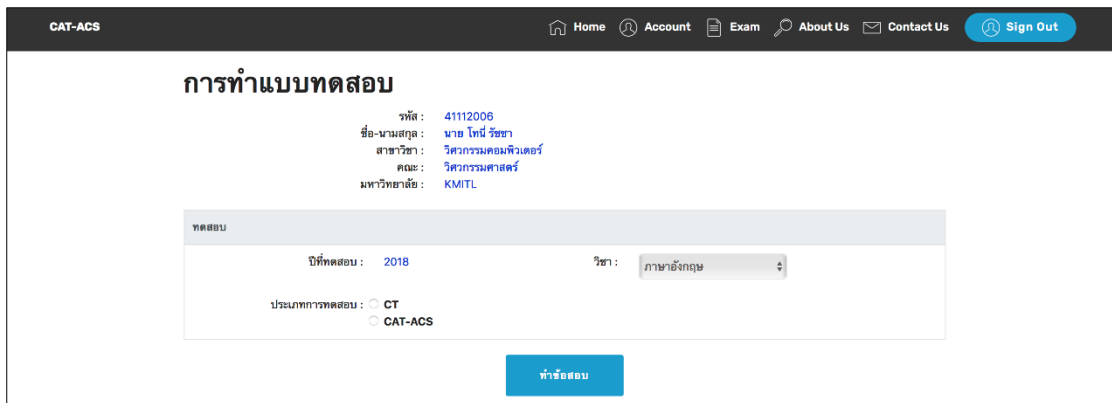
การเข้าใช้งานโปรแกรมให้ผู้สอบคลิกที่เมนู“*Sign In*”โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 หน้า Sign In ของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดสำหรับผู้สอบ

จากภาพที่ 24 ผู้สอบกรอก User Name และ Password ที่ผู้พัฒนาระบบได้กำหนดให้ และคลิก“*Sign In*”โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 25

ภาพที่ 25 หน้าโปรแกรมเมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ

จากภาพที่ 25 เมื่อผู้สอบสามารถ Sign In เข้าใช้โปรแกรมได้สำเร็จ ให้ผู้สอบคลิกที่เมนู“*Exam*” เพื่อทำแบบทดสอบ โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 หน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

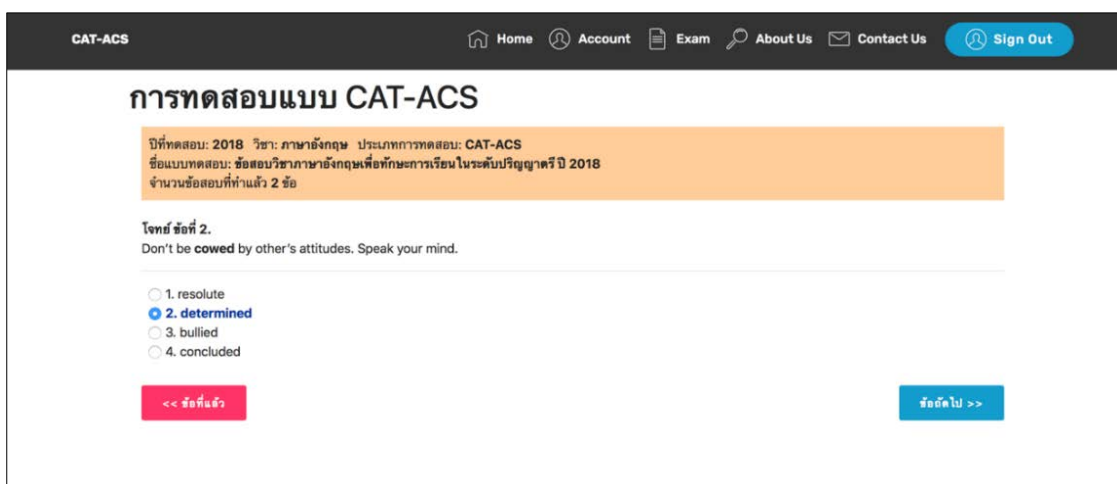
จากภาพที่ 26 ให้ผู้สอบเลือกวิชาสอบ และประเภทการทดสอบ จากนั้นคลิกเมนู“**ทำข้อสอบ**”

การทำแบบทดสอบผู้สอบสามารถเลือกประเภทการทดสอบได้ 2 แบบดังนี้

- 1) การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS
- 2) การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CT

### 1.2.1 การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CAT-ACS

หากผู้สอบเลือกประเภทการทดสอบแบบ CAT-ACS โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบตามวิชาที่เลือก ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 27 การทำแบบทดสอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS เมื่อผู้สอบคลิกตัวเลือกของข้อสอบแต่ละข้อแล้วให้คลิกที่เมนู“**ข้อถัดไป>>**”เพื่อทำข้อสอบข้อถัดไป หากต้องการแก้ไขข้อสอบที่ทำไปแล้วข้อก่อนหน้าสามารถคลิกที่เมนู“**<<ข้อที่แล้ว**”ให้ผู้สอบทำข้อสอบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งโปรแกรมขึ้นเมนู“**ส่งกระดาษคำตอบ**”จากนั้นให้ผู้สอบคลิกส่งกระดาษคำตอบดังภาพที่ 28

The screenshot shows the CAT-ACS exam interface. At the top, there are navigation links: Home, Account, Exam, About Us, Contact Us, and Sign Out. The main heading is "การทดสอบแบบ CAT-ACS". Below this, there is a section for the exam details: "ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS" and "ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018". It also indicates "จำนวนข้อสอบที่ทำแล้ว 20 ข้อ" and a button to "ส่งกระดาษคำตอบ".

The question is: "โทนี่ สตีฟ 20. Randy smelled smoke. He looked outside and saw where it was coming from. A pile of leaves had caught on fire! Randy ran to the phone and started dialing. It can be implied that Randy probably calls to \_\_\_\_."

The options are:
 

- 1. his doctor
- 2. his cousin
- 3. the market
- 4. the fire department

At the bottom right, there is a button to "ส่งกระดาษคำตอบ".

ภาพที่ 28 หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพที่ 28 เมื่อผู้สอบคลิกเมนู“**ส่งกระดาษคำตอบ**” โปรแกรมจะปรากฏดังภาพที่ 29

The screenshot shows the CAT-ACS exam results page. At the top, there are navigation links: Home, Account, Exam, About Us, Contact Us, and Sign Out. The main heading is "ผลการทดสอบแบบ CAT-ACS". Below this, there is a section for the exam details: "ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS" and "ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนในระดับปริญญาตรี ปี 2018". It also indicates "Student Name : รัชกฤษ ธนพัฒน์กุล", "Faculty : วิศวกรรมศาสตร์", "Date : 26/08/2018", "Testing : 20 Items", "Ability Estimate : -1.4565", "Student No. : 41112003", "Major : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์", "Time : 0 Hours 3 Minutes 25 Seconds", "Correct : 6", and "Ability Level : Rather Low".

ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	1	20.00
2	Using Context Clues	5	2	40.00
3	Word Formation	5	0	0.00
4	Making Inferences	5	3	60.00
รวม		20	6	30.00

At the bottom left, there is a button to "พิมพ์" and at the bottom right, there is a button to "กลับ".

ภาพที่ 29 หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบของผู้สอบของการทดสอบประเภท CAT-ACS

จากภาพ 29 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้สอบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“พิมพ์”ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบรายคน ดังภาพที่ 30

เมนู“กลับ”ใช้สำหรับกลับไปหน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

ผลการทดสอบแบบ CAT-ACS				
ปีทดสอบ: 2018 วิชา: ภาษาอังกฤษ ประเภทการทดสอบ: CAT-ACS				
ชื่อแบบทดสอบ: ข้อสอบวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ในระดับปริญญาตรี ปี 2018				
Student Name	: รัชกฤษ ธนพัฒนกุล	Student No.	: 41112003	
Faculty	: วิศวกรรมศาสตร์	Major	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
Date	: 26/08/2018	Time	: 0 Hours 3 Minutes 25 Seconds	
Testing	: 20 Items	Correct	: 6	
Ability Estimate	: -1.4565	Ability Level	: <span style="color: red;">Rather Low</span>	
ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	5	1	20.00
2	Using Context Clues	5	2	40.00
3	Word Formation	5	0	0.00
4	Making Inferences	5	3	60.00
<b>รวม</b>		<b>20</b>	<b>6</b>	<b>30.00</b>

ภาพที่ 30 การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CAT-ACS

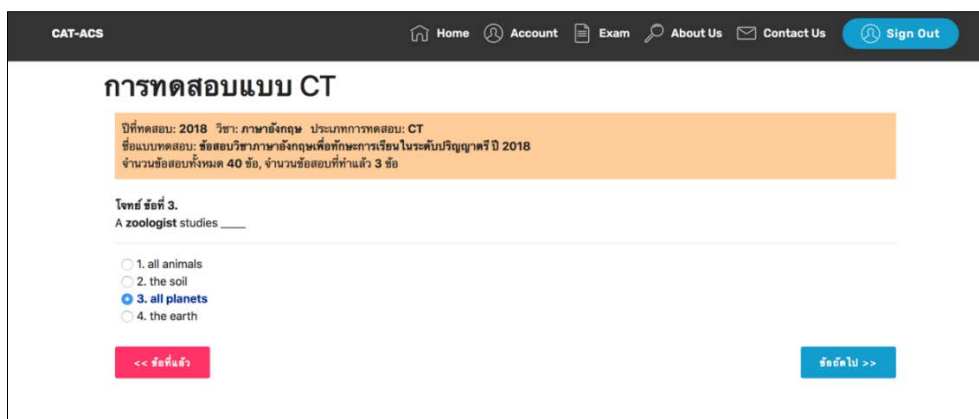
จากภาพที่ 31 ผู้สอบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายคนได้ ทั้งนี้เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถของผู้สอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

ค่าประมาณความสามารถของผู้สอบ	ระดับความสามารถ
มากกว่า 2.0000	Very High
1.0001 ถึง 2.0000	High
0.5001 ถึง 1.0000	Rather High
-0.4999 ถึง 0.5000	Normal
-1.4999 ถึง -0.5000	Rather Low
-2.0000 ถึง -1.5000	Low
ต่ำกว่า -2.0000	Very Low

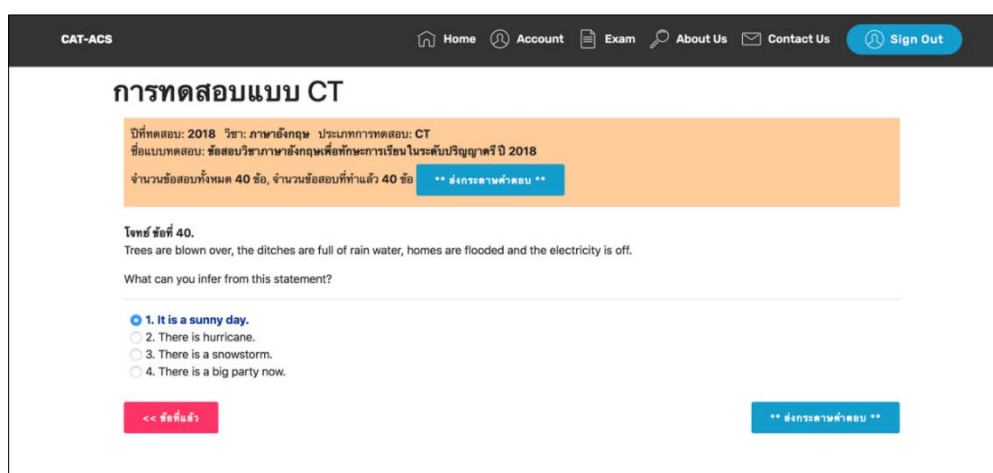
## 1.2.2 การทำแบบทดสอบของการทดสอบแบบ CT

หากผู้สอบเลือกประเภทการทดสอบแบบ CT โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบตามวิชาที่เลือก ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 หน้าโปรแกรมการทำแบบทดสอบตามวิชาที่เลือกสอบของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 31 การทำแบบทดสอบของการทดสอบประเภท CT เมื่อผู้สอบคลิกตัวเลือกของข้อสอบแต่ละข้อแล้วให้คลิกที่เมนู “**ข้อถัดไป>>**” เพื่อทำข้อสอบข้อถัดไป หรือคลิกที่เมนู “**<<ข้อที่แล้ว**” หากต้องการแก้ไขการทำข้อสอบข้อก่อนหน้า และให้ผู้สอบทำข้อสอบไปจนกระทั่งโปรแกรมขึ้นเมนู “**ส่งกระดาษคำตอบ**” จากนั้นให้ผู้สอบคลิกส่งกระดาษคำตอบ ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 หน้าโปรแกรมเมื่อทำข้อสอบเสร็จสิ้นของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 32 เมื่อผู้สอบคลิกเมนู “**ส่งกระดาษคำตอบ**” โปรแกรมจะปรากฏ ดัง

ภาพที่ 33



ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	10	4	40.00
2	Using Context Clues	10	2	20.00
3	Word Formation	10	3	30.00
4	Making Inferences	10	1	10.00
รวม		40	10	25.00

ภาพที่ 33 หน้าโปรแกรมสรุปผลการทดสอบรายคนของการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 33 โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนตัวของผู้สอบ วันที่ทำข้อสอบ เวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ ระดับความสามารถของผู้สอบ จำนวนข้อสอบที่ได้รับ รวมถึงจำนวนข้อที่ผู้สอบทำได้ถูกต้อง นอกจากนี้ส่วนท้ายของหน้าโปรแกรมสรุปผลการสอบรายผู้สอบ ยังมีเมนูต่าง ๆ ที่ผู้สอบสามารถใช้งานได้ดังนี้

เมนู“พิมพ์”ใช้สำหรับพิมพ์ผลการทดสอบรายคน ดังภาพที่ 34

เมนู“กลับ”ใช้สำหรับกลับไปหน้าโปรแกรมหลักการทำแบบทดสอบ

ชุดที่	ชื่อชุด	จำนวนข้อทั้งหมด	จำนวนข้อถูก	ถูกร้อยละ
1	Part of Speech	10	4	40.00
2	Using Context Clues	10	2	20.00
3	Word Formation	10	3	30.00
4	Making Inferences	10	1	10.00
รวม		40	10	25.00

ภาพที่ 34 การพิมพ์ผลการทดสอบประเภท CT

จากภาพที่ 34 ผู้สอบสามารถพิมพ์สรุปผลการทดสอบรายผู้สอบได้ เหมือนกับ รายงานผลการทดสอบแบบ CAT-ACS แต่แตกต่างตรงผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ จะพิจารณา จากคะแนนรวมของผู้สอบ ซึ่งเป็นจำนวนข้อสอบที่ตอบถูก และปรับเทียบระดับความสามารถ โดยใช้ เกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์เทียบระดับความสามารถของผู้สอบ สำหรับการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์

คะแนนรวม (ร้อยละ)	จำนวนข้อสอบที่ตอบถูก	ระดับความสามารถ
ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป	ตั้งแต่ 32 ข้อ ขึ้นไป	Very High
70-79%	28-31 ข้อ	High
60-69%	24-27 ข้อ	Rather High
50-59%	20-23 ข้อ	Normal
40-49%	16-19 ข้อ	Rather Low
30-39%	12-15 ข้อ	Low
ต่ำกว่า 30%	ต่ำกว่า 12 ข้อ	Very Low

ภาคผนวก จ

แบบประเมินความเหมาะสมของโปรแกรม

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบ  
ข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับผู้เชี่ยวชาญ



**แบบประเมินความเหมาะสมของโปรแกรม (Black-Box Testing)**  
**โปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้**  
**วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้**  
**ระดับปริญญาตรี**  
**(สำหรับผู้เชี่ยวชาญ)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบถามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ดังกล่าว เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโปรแกรมให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี ได้ต่อไป โดยแบบประเมินแบ่งออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

- ตอนที่ 1 การประเมินความเหมาะสม ด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม
- ตอนที่ 2 การประเมินความเหมาะสม ด้านการทำงานของโปรแกรม
- ตอนที่ 3 การประเมินความเหมาะสม ด้านการใช้งาน
- ตอนที่ 4 การประเมินความเหมาะสม ด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูล
- ตอนที่ 5 การประเมินความเหมาะสม ด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรม
- ตอนที่ 6 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาสละเวลาเพื่อให้ความเห็นและข้อเสนอแนะในการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี

ขอแสดงความนับถือ  
 นายรัชกฤษ ธนพัฒน์ดล  
 นิสิตระดับปริญญาเอก  
 สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา  
 วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

### คำชี้แจง

แบบประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ รายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับระดับความคิดเห็นของท่าน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ระดับคะแนน	5	หมายถึง	มีความเหมาะสมมากที่สุด
ระดับคะแนน	4	หมายถึง	มีความเหมาะสมมาก
ระดับคะแนน	3	หมายถึง	มีความเหมาะสมปานกลาง
ระดับคะแนน	2	หมายถึง	มีความเหมาะสมน้อย
ระดับคะแนน	1	หมายถึง	มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

### ตอนที่ 1 ความเหมาะสมด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรม (General Program Structure)

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
		5	4	3	2	1
1	การออกแบบโปรแกรมมีความน่าสนใจ					
2	ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษรและรูปภาพ					
3	ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบาย/สื่อความหมาย					
4	ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ					

### ตอนที่ 2 ความเหมาะสมด้านการทำงานของโปรแกรม (Functional)

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
		5	4	3	2	1
1	โปรแกรมสามารถเพิ่ม/ลบ หรือแก้ไขข้อสอบได้					
2	โปรแกรมสามารถคำนวณผลลัพธ์ของการทดสอบได้ถูกต้อง					
3	โปรแกรมสามารถบันทึก/แก้ไขข้อมูลผู้ทดสอบได้					
4	โปรแกรมแสดงรายงานผลการทดสอบได้อย่างเหมาะสม					
5	โปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทบทวนการทดสอบได้อย่างถูกต้อง					
6	โปรแกรมสามารถจัดการทดสอบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ หรือเงื่อนไขของการทดสอบได้					

ตอนที่ 3 ความเหมาะสมด้านการใช้งาน (Usability)

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
		5	4	3	2	1
1	การเรียกใช้งานโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย					
2	การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน					
3	การแสดงผลข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว					
4	ผู้ใช้งานสามารถบันทึกผลการทดสอบและสิ่งพิมพ์ผลการทดสอบได้สะดวก					
5	โปรแกรมมีระบบป้องกันความผิดพลาดของผู้ใช้ทุกขั้นตอน					

ตอนที่ 4 ความเหมาะสมด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูล (Security)

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
		5	4	3	2	1
1	การกำหนดรหัสผู้ใช้ และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้เข้าใช้โปรแกรม					
2	การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิ์ของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง					
3	การป้องกันการเข้าใช้ระบบจากผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง					

ตอนที่ 5 ความเหมาะสมด้านความชัดเจนของคู่มือการใช้โปรแกรม (Program Manual)

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
		5	4	3	2	1
1	อธิบายความเป็นมาและจุดมุ่งหมายของการพัฒนาโปรแกรมอย่างชัดเจน					
2	คู่มือการใช้โปรแกรมแสดงวิธีการใช้งานอย่างมีลำดับขั้นตอน					
3	ภาษาที่ใช้ในคู่มือการใช้โปรแกรมมีความชัดเจนเข้าใจง่าย					
4	คู่มือมีการใช้ภาพประกอบการอธิบายกระบวนการต่างๆ อย่างชัดเจน					
5	หลังจากอ่านคู่มือแล้ว ผู้ใช้มีความมั่นใจว่าสามารถใช้โปรแกรมได้					

ตอนที่ 6 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
(.....)

ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินโปรแกรม

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบ  
ข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอำนาจนิยมสำหรับผู้ใช้งาน



**แบบประเมินโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการคัดเลือกข้อสอบ  
ข้อถัดไปโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด  
สำหรับทดสอบรายวิชาภาษาอังกฤษเพื่อทักษะการเรียนรู้ ระดับปริญญาตรี  
(สำหรับผู้ใช้งาน)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ฉบับนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบความคิดเห็นที่มีต่อการใช้งานโปรแกรมการทดสอบ รวมทั้งคู่มือการใช้โปรแกรม เพื่อนำผลที่ได้มาเป็นข้อมูลในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป

**ตอนที่ 1 การประเมินโปรแกรม**

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน หลังจากท่านได้ศึกษาคู่มือการใช้โปรแกรม และทดลองใช้โปรแกรมแล้ว โดยเกณฑ์ประเมินแบ่งได้ 5 ระดับดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง	โปรแกรมมีความเหมาะสมมากที่สุด
ระดับ 4 หมายถึง	โปรแกรมมีความเหมาะสมมาก
ระดับ 3 หมายถึง	โปรแกรมมีความเหมาะสมปานกลาง
ระดับ 2 หมายถึง	โปรแกรมมีความเหมาะสมน้อย
ระดับ 1 หมายถึง	โปรแกรมมีความเหมาะสมน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
<b>1. ความสะดวกในการใช้โปรแกรม</b>					
1.1 การเข้าถึงโปรแกรมทำได้ง่ายและสะดวก					
1.2 โปรแกรมมีเมนูที่เข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมได้ง่ายและสะดวก					
1.3 การสอบโดยใช้โปรแกรมมีความสะดวกกว่าเมื่อเทียบกับการสอบบนกระดาษ					
1.4 โปรแกรมมีการแสดงผลการสอบทันที เมื่อทดสอบเสร็จ					
1.5 การแสดงผลสอบมีรายละเอียดครบถ้วน					
<b>2. ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม</b>					
2.1 การออกแบบโปรแกรมมีความน่าสนใจ					
2.2 การจัดรูปแบบหน้าจอดีต่อการใช้งาน					
2.3 การแสดงผลข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว					
2.4 โปรแกรมมีระบบป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของผู้ใช้ทุกขั้นตอน เช่น มีข้อเสนอแนะปรากฏขึ้นเมื่อใช้เมาส์ชี้ หรือเมื่อผู้ใช้ ใช้งานผิด					

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
(.....)