


การวิเคราะห์เชิงโมเดลความเข้าใจของนักเรียนในวิชาฟิสิกส์: กรณีศึกษาในไฟฟ้าสถิต



นายสุนทร พิมเสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

MODEL ANALYSIS OF STUDENTS' UNDERSTANDING IN PHYSICS: A CASE STUDY IN
ELECTROSTATICS

Mr. Soonthon Phimsen



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์เชิงโมเดลความเข้าใจของนักเรียนในวิชา
	ฟิสิกส์: กรณศึกษาในไฟฟ้าสถิต
โดย	นายสุนทร พิมเสน
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคนธ์ ติงคะสมิต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นคร ไพศาลกิตติสกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญ อารยะธนิติกุล)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สุนทร พิมเสน : การวิเคราะห์เชิงโมเดลความเข้าใจของนักเรียนในวิชาฟิสิกส์: กรณีศึกษาในไฟฟ้าสถิต. (MODEL ANALYSIS OF STUDENTS' UNDERSTANDING IN PHYSICS: A CASE STUDY IN ELECTROSTATICS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี, 108 หน้า.

แต่เดิมนั้น วิธีการประเมินผล (Assessment Method) มักถูกใช้เพื่อวิเคราะห์คำตอบที่ถูกต้องของผู้เรียนเท่านั้น โดยไม่สนใจคำตอบที่ผิดพลาด ต่อมา L. Bao ได้นำเสนอการวิเคราะห์โมเดล (Model Analysis) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์คำตอบที่ผิดพลาดของผู้เรียน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการวิเคราะห์โมเดล โดยกำหนดประเด็นการศึกษา 3 ประเด็น ประเด็นแรก คือ การเปรียบเทียบระหว่างข้อสนเทศ (Information) ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกับข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนน (Score – Base Analysis) และข้อสนเทศที่ได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) โดยได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อสนเทศเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดและข้อสนเทศเกี่ยวกับพัฒนาการของผู้เรียน ประเด็นถัดมา คือ ศึกษาแนวคิดฟิสิกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โมเดล ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของผู้เรียน ในลักษณะเดียวกับหลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของอนุภาคในทฤษฎีควอนตัม ประเด็นสุดท้าย คือ ศึกษาการประเมินผลการเรียนของกลุ่มตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์โมเดล โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก เปรียบเทียบข้อสนเทศที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์โมเดลในกลุ่มผู้เรียนชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ ระหว่างนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล ได้ข้อสรุปว่า ผู้เรียนทั้ง 2 สถาบันมีพื้นฐานความรู้และพัฒนาการใกล้เคียงกัน โดยไม่ขึ้นกับวิธีการสอน ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบข้อสนเทศที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์โมเดลในกลุ่มนิสิตชั้นปีที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติ จำนวน 5 กลุ่ม ได้ข้อสรุปว่า นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติ มีพัฒนาการสูงกว่านิสิตกลุ่มอื่นๆ ทั้งนี้ มีข้อจำกัดบางประการที่อาจจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์โมเดลในกลุ่มตัวอย่าง กล่าวคือ แต่ละหัวข้อมีจำนวนคำถามน้อย และบางกรณี ข้อสนเทศที่ได้จากสถานะโมเดลปฐมภูมิ (Primary Model State) ครอบคลุมจำนวนผู้เรียนน้อยกว่า ร้อยละ 60 จากผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา ฟิสิกส์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5372479523 : MAJOR PHYSICS

KEYWORDS: MODEL ANALYSIS / ASSESSMENT METHOD / DATA – BASE ANALYSIS / NORMALIZED GAIN / PRIMARY MODEL STATE

SOONTHON PHIMSEN: MODEL ANALYSIS OF STUDENTS' UNDERSTANDING IN PHYSICS: A CASE STUDY IN ELECTROSTATICS. ADVISOR: NARUMON SUWONJANDEE, Ph.D., 108 pp.

For some time, Assessment Method was used to analyze only students' correct answers without considering their incorrect ones. Later, L. Bao introduced a new method called Model Analysis, which was created in order to analyze students' incorrect answers. The objective of this thesis is to study Model Analysis in three aspects. The first aspect is to compare the information taken from Model Analysis, Score – Base Analysis, and Normalized Gain. The result shows that Model Analysis provides more information than Score – Base Analysis and Normalized Gain, especially information related to misunderstanding and improvement of students. The second aspect is to study the physics concepts that are applied in Model Analysis. The result shows that Model Analysis represents and measures the state of students the same way as Quantum Theory represents and measures the state of particles. The last aspect focuses on the learning evaluation of students' understanding using Model Analysis which is divided into two parts. The first part is to compare the information obtained from Model Analysis for freshmen in Faculty of Science from Chulalongkorn University and Mahidol University. The result shows that students from both universities have quite the same basic knowledge and similar learning improvement. This implies that different instructions do not affect the students' perception. The second part is to compare the information using Model Analysis for freshmen from Chulalongkorn University in Faculty of Science, Faculty of Education, and Faculty of Engineering (International Program). The students are divided into five groups. The result shows that engineering students (International Program) have higher improvement than other groups. However, there are limitations that might affect the reliability of the result using Model Analysis. For example, there are too few questions in each topic. And in some cases, the information taken from the Primary Model State covers less than 60% of students in the group.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Physics

Student's Signature

Field of Study: Physics

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุน ค่าเล่าเรียน ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี ที่สละเวลาคอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาอย่างดีเยี่ยม ซึ่งนอกจากท่านจะคอยแนะนำเกี่ยวกับเนื้อหาทางวิชาการแล้ว ยังคอยให้การอบรมสั่งสอนเรื่องคุณธรรม จริยธรรม รวมทั้งทักษะต่างๆ ที่ต้องใช้ในการทำงาน พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือด้านการเงิน นอกจากนี้ ท่านได้เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ และนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งนี้ ในส่วนของข้อมูล ต้องขอขอบคุณ น.ส. ธนิตา สุจริตธรรม นักศึกษาปริญญาเอก จากมหาวิทยาลัยมหิดล ที่อนุเคราะห์ข้อมูลการตอบแบบทดสอบของผู้เรียน รวมทั้งขอขอบคุณ นิสิต/นักศึกษา บรรดาคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ที่อนุเคราะห์ให้มีการเก็บข้อมูลดังกล่าว นอกจากนี้ ขอขอบคุณท่านกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ในการสละเวลาอ่านวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมให้คำแนะนำในการปรับปรุงงานชิ้นนี้ให้ดียิ่งขึ้น ขอขอบคุณ ครอบครัว แม่และพี่ๆ ที่คอยให้การสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจและทุนทรัพย์ ขอขอบคุณ นางสาวกิตติยา พูลเกษม นายสุวิจักขณ์ สุวรรณศิริกุล ที่ช่วยตรวจทานและปรับแก้ส่วนที่เป็นภาษาอังกฤษ รวมทั้งบรรดามิตรสหายทุกท่าน จาก ชมรมศาสนศึกษา แผนกอิสลาม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งเพื่อนร่วมรุ่นปริญญาโทอีกหลายท่าน และขอชื่นชมบุคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ช่วยกันทำให้สถาบันการศึกษาแห่งนี้ยังคงยึดมั่นในอุดมการณ์ทางวิชาการ ในสภาวะที่มีกระแสวิพากษ์วิจารณ์อย่างมากมาย ว่าสถาบันการศึกษาไทย กำลังกลายเป็นสถาบันเชิงพาณิชย์ “ขอเพียงจ่ายเงินครบก็จบแน่ๆ” แต่จากประสบการณ์ส่วนตัว ผู้เขียนกลับพบว่าสถาบันแห่งนี้เป็นหนึ่งในหลายๆ สถาบันที่ไม่เป็นดังคำวิจารณ์ดังกล่าว สถาบันแห่งนี้ยังคงรักษามาตรฐานทางวิชาการอย่างดีเยี่ยม “ต่อให้จะจ่ายเงินหรือจ่ายครบ ก็เชื่อว่าจบออกไปได้โดยง่าย”

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน	3
บทที่ 3 การวิเคราะห์โมเดล.....	11
บทที่ 4 สรุปผลและอภิปราย	39
บทที่ 5 บทสรุป.....	95
รายการอ้างอิง	98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	108

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 คุณภาพข้อสอบที่สัมพันธ์กับดัชนีความยาก	6
ตาราง 2.2 คุณภาพข้อสอบที่สัมพันธ์กับดัชนีอำนาจจำแนก	7
ตาราง 2.3 ข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน	9
ตาราง 3.1 โมเดลของผู้เรียนจากการจัดกลุ่มตัวเลือก	18
ตาราง 3.2 แสดงตัวอย่างสถานะของผู้เรียนสำหรับ 4 คำถาม 3 โมเดล.....	20
ตาราง 3.3 แสดงการตีความสถานะโมเดลผู้เรียนสำหรับ 4 คำถาม 3 โมเดล.....	29
ตาราง 3.4 เปรียบเทียบข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและการวิเคราะห์โมเดล	33
ตาราง 3.5 ตัวอย่างค่า $\langle g \rangle_p$ และ M ในกรณีต่างๆ	35
ตาราง 3.6 การแสดงสถานะและการวัดสถานะในทฤษฎีควอนตัมและการวิเคราะห์โมเดล.....	37
ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์.....	42
ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า	46
ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุใน ตัวนำและฉนวน.....	50
ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า	54
ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และ การกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน.....	57
ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก.....	62
ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า.....	66

ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก	70
ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎโคลอมป์	74
ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า.....	77
ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า	81
ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก	85
ตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ.....	89

สารบัญภาพ

หน้า

รูป 3.1 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 14 - 16.....	12
รูป 3.2 กระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล	17
รูป 3.3 ตัวเลือกของคำถามข้อ 14 – 16 จากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA	18
รูป 3.4 เปรียบเทียบระหว่างเมทริกซ์ D จากสมการ (3.19) กับสมการ (3.9).....	23
รูป 3.5 แผนภาพโมเดล	25
รูป 3.6 แผนภาพโมเดลแสดงการเลื่อนของจุดโมเดลจากจุด A ไปยังจุด B	26
รูป 3.7 หลักการแสดงสถานะและวัดสถานะในทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมและการวิเคราะห์โมเดล	28
รูป 4.1 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์	43
รูป 4.2 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์	44
รูป 4.3 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์	44
รูป 4.4 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์	45
รูป 4.5 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า	47
รูป 4.6 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า	48

รูป 4.7 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักดิ์ไฟฟ้า.....	48
รูป 4.8 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักดิ์ไฟฟ้า.....	49
รูป 4.9 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน	51
รูป 4.10 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน	52
รูป 4.11 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน	52
รูป 4.12 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน	53
รูป 4.13 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักดิ์ไฟฟ้า.....	54
รูป 4.14 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักดิ์ไฟฟ้า.....	55
รูป 4.15 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักดิ์ไฟฟ้า.....	55
รูป 4.16 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักดิ์ไฟฟ้า.....	56

รูป 4.17 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของ 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดลในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน 57

รูป 4.18 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของ 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน 58

รูป 4.19 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน 59

รูป 4.20 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน 59

รูป 4.21 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก..... 63

รูป 4.22 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก..... 64

รูป 4.23 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก 64

รูป 4.24 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก..... 65

รูป 4.25 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า..... 67

รูป 4.26 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า..... 68

รูป 4.27 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า 68

รูป 4.28 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า.....	69
รูป 4.29 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน หัวข้อแม่เหล็ก	70
รูป 4.30 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก	71
รูป 4.31 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก.....	72
รูป 4.32 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก	72
รูป 4.33 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน หัวข้อกฎคูลอมบ์	74
รูป 4.34 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์	75
รูป 4.35 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์.....	76
รูป 4.36 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์.....	76
รูป 4.37 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า	78
รูป 4.38 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า	79
รูป 4.39 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า ..	79
รูป 4.40 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า	80

รูป 4.41 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศัลยกรรมไฟฟ้า.....	81
รูป 4.42 ค่าไอแกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศัลยกรรมไฟฟ้า.....	82
รูป 4.43 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศัลยกรรมไฟฟ้า	83
รูป 4.44 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดล นิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศัลยกรรมไฟฟ้า	84
รูป 4.45 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก	86
รูป 4.46 ค่าไอแกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก	87
รูป 4.47 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก.....	87
รูป 4.48 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก.....	88
รูป 4.49 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อ แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ.....	90
รูป 4.50 ค่าไอแกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ	91
รูป 4.51 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ	91
รูป 4.52 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และ พัฒนาการโมเดล นิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ	92

บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษา (Physics Education Research) คือ งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษา และการพัฒนาการเรียนการสอนฟิสิกส์ในด้านต่างๆ เช่น การศึกษากระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) การศึกษาปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการเรียน การพัฒนาวิธีการสอน (Instruction) การพัฒนาแบบทดสอบเพื่อวัดความรู้ของผู้เรียน หรือการพัฒนาวิธีการประเมินผล (Assessment Method) เป็นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษา โดยเจาะจงไปที่ การศึกษาวิธีการประเมินผล

วิธีการประเมินผลที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายวิธี โดยวิธีพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การวิเคราะห์คะแนน (Score - Base Analysis) ตามแนวทางของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory) [1, 2] แต่เนื่องจากการวิเคราะห์คะแนนเป็นวิธีการประเมินผลในเชิง ปริมาณที่ไม่สามารถให้รายละเอียดในเชิงคุณภาพได้ดีเท่าที่ควร จึงมีการคิดค้นวิธีการประเมินผล ขึ้นมาอีกหลายวิธี เช่น วิธีการประเมินผลที่ได้จากทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด (Generalizability Theory) [1] หรือวิธีการประเมินผลที่ได้จากทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory) [1] เป็นต้น นอกจากนี้ วิธีการประเมินผลบางวิธีถูกคิดค้นขึ้นโดยนักฟิสิกส์ เช่น การประเมินผลโดยใช้เอนโทรปี (Entropy Grade) [3] ที่พัฒนาโดยนักฟิสิกส์ชื่อ R. Vawter การประเมินผลโดยใช้สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) [4, 5] ที่พัฒนาโดยนักฟิสิกส์ชื่อ R. R. Hake เป็นต้น ทั้งนี้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการประเมินผลที่เรียกว่า การวิเคราะห์โมเดล (Model Analysis) [6-8] ซึ่งคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ ชื่อ L. Bao

การวิเคราะห์โมเดลมีจุดเด่นหลายประการที่สอดคล้องกับปัญหาใหม่ๆ ของงานด้านฟิสิกส์ศึกษา ได้เป็นอย่างดี จุดเด่นประการแรก คือ การวิเคราะห์โมเดลเป็นวิธีการประเมินผลที่สอดคล้องกับ งานวิจัยใหม่ๆ ทางด้านศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการคิด (Cognitive Science) ประการถัดมา คือ การ วิเคราะห์โมเดลสามารถให้รายละเอียดในเชิงคุณภาพเกี่ยวกับความรู้ของผู้เรียน โดยเฉพาะ รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาด และประการสุดท้าย คือ การวิเคราะห์โมเดลสามารถนำ แนวคิดฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้กับการประเมินผลได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เน้น

ศึกษาเกี่ยวกับจุดเด่น 2 ประการสุดท้ายเท่านั้น โดยไม่ศึกษาลงลึกในรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการคิด ซึ่งได้กำหนดวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ไว้ 3 ข้อ ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เปรียบเทียบระหว่าง *ข้อมูลเทศ* (Information) ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกับข้อมูลเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและข้อมูลเทศที่ได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ศึกษาการนำแนวคิดฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โมเดล

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ศึกษาการประเมินผลการเรียนด้วยการวิเคราะห์โมเดล ในกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล คณะวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 ในเนื้อหาไฟฟ้าสถิตและแม่เหล็ก

แต่ละบทของวิทยานิพนธ์มีรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 คือ บทนำ บทที่ 2 กล่าวถึง การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ทฤษฎีการทดสอบดั้งเดิม และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์โมเดล ช่วงแรกของบทนี้ กล่าวถึงการวิเคราะห์โมเดลในเชิงทฤษฎี และช่วงท้าย กล่าวถึงผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลเทศที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกับข้อมูลเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและข้อมูลเทศที่ได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

รวมทั้งกล่าวถึง ผลการศึกษาหลักการในทฤษฎีควอนตัมที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โมเดล บทที่ 4 เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์โมเดลในกลุ่มตัวอย่าง พร้อมทั้งอภิปรายผล โดยการอภิปรายผลจะแบ่งเป็น 3 ส่วน กล่าวคือ ส่วนแรก อภิปรายเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ *สมรรถนะ* (Performance) และ *พัฒนาการ* (Improvement) ของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล ส่วนที่สอง อภิปรายเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 5 กลุ่ม จาก 3 คณะ และส่วนที่สาม อภิปรายถึงข้อดีและข้อเสียของการวิเคราะห์โมเดลจากการใช้งานจริงในกลุ่มตัวอย่าง บทที่ 5 เป็นบทสรุป กล่าวถึงภาพรวมและข้อสรุปทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

บทที่ 2

การวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

บทนี้ กล่าวถึงการวิเคราะห์คะแนน (Score – Base Analysis) และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) ในช่วงแรก กล่าวถึงการวิเคราะห์คะแนน รวมทั้งหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คะแนน และในช่วงท้าย กล่าวถึงสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

2.1 การวิเคราะห์คะแนน

การวิเคราะห์คะแนนเป็นวิธีการประเมินผลอย่างง่ายที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีการ คือ ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบ แล้วใช้คะแนนที่ได้จากแบบทดสอบแสดงสถานะของผู้เรียน โดยระดับของคะแนนจะบ่งบอกระดับสมรรถนะ (Performance) ของผู้เรียนแต่ละคน ในกรณีที่พิจารณาผู้เรียนเป็นกลุ่ม สามารถใช้คะแนนเฉลี่ยแสดงสถานะของกลุ่ม ดังนี้

$$\langle X \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \quad (2.1)$$

$\langle X \rangle$ คือ คะแนนเฉลี่ยของกลุ่ม X_k คือ คะแนนของผู้เรียนคนที่ k และ N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม ทั้งนี้ การพิจารณาคะแนนเฉลี่ยนั้น ต้องพิจารณาควบคู่กับการกระจายของคะแนน ซึ่งหาได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S. D.$) ดังนี้

$$S. D. = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (X_k - \langle X \rangle)^2} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) เห็นได้ว่า หากกลุ่มผู้เรียนมีค่า $S. D.$ สูง แสดงว่าผู้เรียนแต่ละคนในกลุ่มมีสถานะแตกต่างกัน แต่หาก $S. D.$ มีค่าต่ำ แสดงว่าผู้เรียนแต่ละคนมีสถานะใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ในกรณีที่ $S. D.$ มีค่าสูง บ่งบอกว่าอาจจะมีผู้เรียนบางส่วน (ส่วนน้อย) ที่คะแนนสูงมากหรือต่ำมากเมื่อเทียบกับผู้เรียนส่วนใหญ่ในกลุ่ม กระทั่งทำให้คะแนนเฉลี่ยไม่สอดคล้องกับคะแนนของผู้เรียนส่วนใหญ่ ดังนั้น การหาคะแนนเฉลี่ยในกรณีนี้ ควรแยกผู้เรียนที่มีคะแนนต่ำมากหรือสูงมากออกไป

อย่างไรก็ตาม การใช้คะแนนแสดงสถานะของผู้เรียน นำมาซึ่งประเด็นปัญหาเชิงทฤษฎีบางประการ นั่นคือ เราจะรู้ได้อย่างไรว่าคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบ สอดคล้องกับสถานะที่แท้จริงของ

ผู้เรียน ซึ่งประเด็นปัญหานี้ เกี่ยวข้องโดยตรงกับทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory) [1, 2]

2.2 ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม

ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมถูกเสนอโดย C. Spearman ในปี พ.ศ. 2447 อธิบายถึงหลักการที่เกี่ยวข้องการวัดสมรรถนะของผู้เรียน ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมระบุว่าสถานะที่แท้จริงของผู้เรียนในช่วงเวลาใดๆ จะมีเพียงสถานะเดียวและมีลักษณะ *แจ่มชัด* (Well-Define) [1] ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยตัวเลขที่เรียกว่า *คะแนนจริง* (True Score, T) เราสามารถวัดคะแนนจริงได้ด้วยแบบทดสอบ และเรียกผลการวัดว่า *คะแนนสังเกต* (Observe Score, X) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเป็นบวกเสมอ ทั้งนี้ คะแนนสังเกต (ผลการวัด) อาจจะสอดคล้องกับคะแนนจริง (สถานะที่แท้จริง) หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นหรือไม่ โดยสามารถระบุความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้ด้วยตัวเลขที่อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ เรียกว่า *คะแนนความคลาดเคลื่อน* (Error Score, E) โดยสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$X = T + E \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.3) เห็นได้ว่า คะแนนของผู้เรียนแต่ละคน (X_k) เป็นเพียงคะแนนสังเกตเท่านั้น ($X_k = X$) ซึ่งคะแนนของแต่ละคนจะสอดคล้องกับสถานะที่แท้จริง ($X_k = T$) ก็ต่อเมื่อ ไม่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการวัด ($E = 0$) ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากหลายปัจจัย แต่ในที่นี้จะพิจารณาเพียงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด (แบบทดสอบ) เท่านั้น กล่าวคือ $E = 0$ ก็ต่อเมื่อ แบบทดสอบมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ ประเด็นปัญหาประการถัดมา จึงเกี่ยวข้องกับวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบทดสอบ นั่นคือ เราจะรู้ได้อย่างไรว่าแบบทดสอบมีประสิทธิภาพ

2.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบทดสอบ

การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบทดสอบ ประกอบด้วยวิธีการหลากหลายที่ต้องใช้ร่วมกัน เช่น การหาค่า *ความเที่ยง* (Reliability) *ความตรง* (Validity) *ดัชนีความยาก* (Difficulty Index) *ดัชนีอำนาจจำแนก* (Discriminant Index) และ *ประสิทธิภาพตัวลวง* (Effectiveness of Distractors) ดังนี้

2.3.1 ความเที่ยง

การหาค่าความเที่ยง [1, 2] เป็นวิธีการตรวจสอบความคงเส้นคงวาของแบบทดสอบ เนื่องจาก แบบทดสอบที่มีประสิทธิภาพ ควรเป็นแบบทดสอบที่ยังคงให้ผลคงเดิม เมื่อมีการทดสอบซ้ำ วิธีการเบื้องต้นในการหาค่าความเที่ยง คือ การทดสอบโดยใช้แบบทดสอบเดิมกับผู้เรียนกลุ่มเดิมในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำคะแนนสอบทั้ง 2 ครั้งมาหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, R) ที่มีค่าตั้งแต่ 0-1 ดังนี้

$$R = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.4)$$

N คือ จำนวนผู้สอบ X คือ คะแนนสอบครั้งแรกของผู้เข้าสอบแต่ละคน และ Y คือ คะแนนสอบครั้งหลังของผู้เข้าสอบแต่ละคน

นอกจากนั้น การหาค่าความเที่ยงยังกระทำได้อีกหลายวิธี เช่น วิธีการของ Kuder – Richardson หรือ วิธีการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient)

2.3.2 ความตรง

ความตรง [1, 2] คือ ค่าที่ใช้ระบุความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาของแบบทดสอบกับสิ่งที่ต้องการวัด เช่น ต้องการวัดความรู้เกี่ยวกับกฎคูลอมบ์ ก็ควรสร้างแบบทดสอบให้มีเนื้อหาสอดคล้องกับกฎคูลอมบ์ เป็นต้น ค่าความตรงหาได้จากหลายวิธี เช่น หากจากค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงวัตถุวิสัยของข้อสอบ (Item Objective Congruency Index, IOC) [1, 2] ที่มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N_e} \quad (2.5)$$

$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และ N_e คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด โดยผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้พิจารณาว่าแบบทดสอบแต่ละข้อ มีความสอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการวัดหรือไม่ หากมีความสอดคล้องผู้เชี่ยวชาญจะให้คะแนน +1 หากไม่แน่ใจจะให้คะแนน 0 แต่หากไม่มีความสอดคล้องจะให้คะแนนเป็น -1

นอกจากการหาค่า IOC แล้ว สามารถหาค่าความตรงของแบบทดสอบได้จากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของแต่ละคนจากแบบทดสอบที่ต้องการหาค่าความตรง กับคะแนนของแต่ละคนจากแบบทดสอบมาตรฐาน นอกจากนี้ ยังมีวิธีการหาค่าความตรงด้วยวิธีการทางสถิติอื่นๆ เช่น การทดสอบที (T-Test) การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) เป็นต้น

2.3.3 ดัชนีความยาก

ดัชนีความยาก (P) [1, 2] คือ ค่าที่แสดงถึงระดับความยากง่ายของข้อสอบเป็นรายข้อ โดยมีค่าตั้งแต่ 0-1 ดังนี้

$$P = \frac{R}{N} \quad (2.6)$$

R คือ จำนวนผู้ที่ตอบถูกทั้งหมด และ N คือ จำนวนผู้ที่ทำข้อสอบทั้งหมด โดยพิจารณาระดับของค่าดัชนีความยาก ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณภาพข้อสอบที่สัมพันธ์กับดัชนีความยาก [2]

P	ความหมายระดับความยาก	คุณภาพข้อสอบ
0.80 - 1.00	ง่ายมาก	ต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่
0.60 - 0.79	ค่อนข้างง่าย	พอใช้ได้
0.40 - 0.59	ปานกลาง	ดีมาก
0.20 - 0.39	ค่อนข้างยาก	พอใช้ได้
0 - 0.19	ยากมาก	ต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่

จากตาราง 2.1 เห็นได้ว่า ข้อสอบที่ดีควรมีค่าดัชนีความยากอยู่ในช่วง 0.40 - 0.59

2.3.4 ดัชนีอำนาจจำแนก

ดัชนีอำนาจจำแนก (r) [1, 2] คือ ค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของข้อสอบในการจำแนกผู้เรียนออกเป็นกลุ่มที่มีสมรรถนะสูงกับกลุ่มที่มีสมรรถนะต่ำ โดยมีค่าตั้งแต่ 0-1 ดังนี้

$$r = \frac{H-L}{n} \quad (2.7)$$

H คือ จำนวนผู้สอบในกลุ่มคะแนนสูงที่ตอบถูก L คือ จำนวนผู้สอบในกลุ่มคะแนนต่ำที่ตอบถูก และ n คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมดในกลุ่มคะแนนสูงหรือในกลุ่มคะแนนต่ำ

การหา H และ L กระทำได้โดยนำคะแนนของผู้เรียนแต่ละคนมาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย หรือจากน้อยไปหามาก แล้วแบ่งผู้เรียนเป็นกลุ่มคะแนนสูงหรือคะแนนต่ำตามสัดส่วนที่ต้องการ เช่น แบ่งในสัดส่วน 50:50 คือ แบ่งครึ่งผู้เรียนที่ได้คะแนนสูงสุดและต่ำสุด หรือแบ่งในสัดส่วน 25 : 50 : 25 คือ แบ่งเป็นจำนวนผู้เรียนที่มีคะแนนสูงสุดร้อยละ 25 และจำนวนผู้เรียนที่มีคะแนนต่ำสุดร้อยละ 25 จากผู้เรียนทั้งหมด สามารถพิจารณาระดับของดัชนีอำนาจจำแนก ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 คุณภาพข้อสอบที่สัมพันธ์กับดัชนีอำนาจจำแนก [2]

ค่าอำนาจจำแนก	คุณภาพข้อสอบ
0.4 -ขึ้นไป	ดีมาก
0.30-0.39	ดีพอสมควร
0.20-0.29	พอใช้ได้
0.19 ลงไป	ต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงใหม่

จากตาราง 2.2 จะเห็นว่า ข้อสอบที่ดีควรมีดัชนีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.4 ขึ้นไป

2.3.5 ประสิทธิภาพของตัวลวง

ประสิทธิภาพของตัวลวง (d) [1, 2] คือ ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของตัวเลือกที่ผิดหรือตัวลวง ในการใช้จำแนกกลุ่มผู้สอบออกเป็นกลุ่มที่มีคะแนนสูงกับกลุ่มที่มีคะแนนต่ำ ดังนี้

$$d = \frac{l-h}{n} \quad (2.8)$$

h คือ จำนวนผู้สอบในกลุ่มคะแนนสูงที่ตอบผิด l คือ จำนวนผู้สอบในกลุ่มคะแนนต่ำที่ตอบผิด และ n คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมดในกลุ่มคะแนนสูงหรือในกลุ่มคะแนนต่ำ เนื่องจาก ตัวลวงที่มีประสิทธิภาพควรเป็นตัวลวงที่ทำให้ผู้สอบในกลุ่มคะแนนต่ำมีจำนวนมากกว่าผู้สอบในกลุ่มคะแนนสูง ดังนั้น ตัวลวงที่มีประสิทธิภาพ ควรมีค่า d เป็นบวก

ดังที่กล่าวไปข้างต้น ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์คะแนน คือ วิธีการประเมินผลที่ใช้คะแนน แสดงสถานะของผู้เรียน ซึ่งทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมบ่งบอกว่าคะแนนจะสอดคล้องกับสถานะที่แท้จริงของผู้เรียนเสมอ トラบใดที่แบบทดสอบมีประสิทธิภาพ โดยสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพแบบทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การหาค่าความเที่ยง ความตรง ดัชนีความยาก ดัชนีอำนาจจำแนก และประสิทธิภาพตัวลวง

2.4 พัฒนาการของผู้เรียน

วิธีการเบื้องต้นในการระบุพัฒนาการของผู้เรียนนั้น คือ การระบุด้วยผลต่างของคะแนน (ΔX) ระหว่างคะแนนก่อนเรียน (X_i) กับหลังเรียน (X_f) ดังนี้

$$\Delta X = X_f - X_i \quad (2.9)$$

ทั้งนี้ การระบุพัฒนาการของผู้เรียนด้วย ΔX มีข้อจำกัด เมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างผู้เรียนที่มีพื้นฐานต่างกัน (คะแนนก่อนเรียนต่างกัน) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เปรียบเทียบพัฒนาการของผู้เรียน 2 คน คนแรก มีคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับ คนที่สอง มีคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนร้อยละ 80 และร้อยละ 90 ตามลำดับ

จากตัวอย่าง จะเห็นว่าผู้เรียนทั้ง 2 คนมี ΔX เท่ากัน ($\Delta X = 10$) แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าผู้เรียน 2 คนนี้ มีพัฒนาการเท่ากัน เนื่องจาก สถานการณ์ที่ผู้เรียนทำคะแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20 เป็น 30 เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสถานการณ์ที่ผู้เรียนทำคะแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80 เป็น 90

2.5 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

สืบเนื่องจากข้อจำกัดในการเปรียบเทียบพัฒนาการของผู้เรียนที่มีพื้นฐานความรู้แตกต่างกัน R. R. Hake จึงเสนอวิธีการวิเคราะห์พัฒนาการของผู้เรียนด้วยสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (G) [4, 5] ในปี พ.ศ. 2539 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานหาได้จากผลต่างระหว่างร้อยละของคะแนนก่อน ($\%X_i$) และหลังเรียน ($\%X_f$) เทียบกับผลต่างสูงสุดเมื่อผู้เรียนสามารถทำคะแนนหลังเรียนได้เต็ม 100 คะแนน ดังนี้

$$G = \frac{\%X_f - \%X_i}{100 - \%X_i} \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.10) เมื่อกลับไปพิจารณาตัวอย่างในหัวข้อ 2.3 จะเห็นว่า ผู้เรียนคนแรกที่มีคะแนนสอบก่อนเรียนร้อยละ 20 และหลังเรียนร้อยละ 30 มีค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ดังนี้

$$G_{20 \rightarrow 30} = 0.13 \quad (2.11)$$

ในขณะที่ ผู้เรียนคนที่สอง ซึ่งมีคะแนนสอบก่อนเรียนร้อยละ 80 และหลังเรียนร้อยละ 90 มีค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ดังนี้

$$G_{80 \rightarrow 90} = 0.5 \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.11) และสมการ (2.12) ค่า G ของผู้เรียนคนแรกมีค่าน้อยกว่าคนที่สอง บ่งบอกว่าผู้เรียนคนแรกมีพัฒนาการต่ำกว่าคนที่สอง (ทั้งที่ ΔX เท่ากัน) ดังนั้น การระบุพัฒนาการด้วยค่า G จึงมีความหมายที่สมเหตุสมผลมากกว่าค่า ΔX

ทั้งนี้ ค่า G ตามสมการ (2.10) ใช้พิจารณาพัฒนาการของผู้เรียนเป็นรายบุคคลเท่านั้น โดยสามารถพิจารณาพัฒนาการของผู้เรียนรายกลุ่มได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย $\langle g \rangle$ ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle X_f \rangle - \% \langle X_i \rangle}{100 - \% \langle X_i \rangle} \quad (2.13)$$

$\% \langle X_i \rangle$ และ $\% \langle X_f \rangle$ คือร้อยละคะแนนสอบเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน ตามลำดับ

ดังที่กล่าวไปในบทนี้ ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน สามารถให้ข้อสนเทศต่างๆ ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

ข้อสนเทศ	สัญลักษณ์	ความหมาย
คะแนน	X	สมรรถนะของผู้เรียนรายบุคคล
คะแนนเฉลี่ย	$\langle X \rangle$	สมรรถนะของผู้เรียนรายกลุ่ม
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	$S.D.$	การกระจายของสมรรถนะผู้เรียน
ค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน	$\langle G \rangle$	พัฒนาการของผู้เรียนรายบุคคล
ค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย	$\langle g \rangle$	พัฒนาการของผู้เรียนรายกลุ่ม

จากตาราง 2.3 จะเห็นว่า การวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานสามารถให้ข้อสนเทศที่บ่งบอกถึงสมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ข้อสนเทศเหล่านี้ บ่งบอกสมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในเชิงปริมาณเท่านั้น กล่าวคือ บ่งบอกว่าผู้เรียนมีสมรรถนะและพัฒนาการสูงหรือต่ำ โดยสมรรถนะและพัฒนาการในที่นี้ เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ถูกต้องทำนั้น ไม่เกี่ยวข้องกับความรู้อื่นๆ ดังนั้น การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน จึงเป็นวิธีการประเมินผลที่เหมาะสมสำหรับ *การประเมินผลรวม* (Summative Assessment) [9] ซึ่งเป็นรูปแบบการประเมินผล สำหรับจัดระดับความรู้ของผู้เรียน หรือใช้ตัดสินว่าผู้เรียนสอบตกหรือสอบผ่าน หลังจากจบการเรียนการสอนไปแล้ว แต่ในงานวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษามักเกี่ยวข้องกับ *การประเมินย่อย* (Formative Assessment) [9] ซึ่งเป็นการประเมินผลเพื่อนำรายละเอียดที่ได้จากการประเมินไปปรับปรุงการเรียนการสอน ในช่วงเวลาการเรียนการสอนยังไม่สิ้นสุด ดังนั้น ในงานด้านฟิสิกส์ศึกษา จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการประเมินผลที่สามารถให้รายละเอียดในเชิงคุณภาพเกี่ยวกับสมรรถนะและ

พัฒนาการของผู้เรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน ด้วยเหตุนี้ จึงมีการคิดค้นการวิเคราะห์โมเดลขึ้นมา ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป ในบทที่ 3



บทที่ 3

การวิเคราะห์โมเดล

การวิเคราะห์โมเดล (Model Analysis) คือ วิธีการประเมินผล (Assessment Method) ที่สามารถให้ข้อเสนอแนะ (Information) เกี่ยวกับรายละเอียดในเชิงคุณภาพของสมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน ในบทนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดล โดยแบ่งเนื้อหาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ทฤษฎี ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดลตามที่ปรากฏในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] โดยจะหลีกเลี่ยงการแสดงความเห็นใดๆ ส่วนที่สองคือ อภิปรายเป็นการนำเสนอผลการศึกษารวบรวมการวิเคราะห์โมเดลใน 3 ประเด็น กล่าวคือ เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน (Score – Base Analysis) เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) และศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ในการวิเคราะห์โมเดล

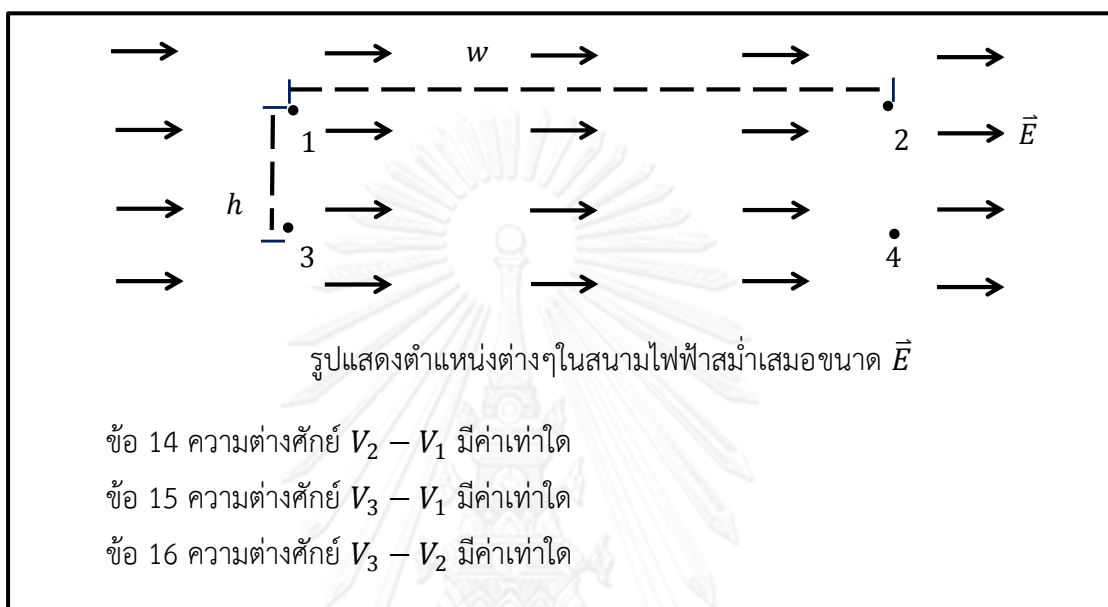
3.1 ทฤษฎี

หัวข้อนี้ กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดลตามที่ปรากฏในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] ช่วงแรก กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์โมเดล ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงตามบริบท (Context Dependence) หน่วยความรู้ (Bit of Knowledge) และทฤษฎีควอนตัม จากนั้น กล่าวถึงแบบจำลองกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process Model) ของ L. Bao ที่สร้างขึ้นจากหลักการพื้นฐานดังกล่าว ถัดจากนั้น กล่าวถึงขั้นตอนต่างๆ ของการวิเคราะห์โมเดล ได้แก่ การวัดความรู้ของผู้เรียน การแสดงสถานะของผู้เรียนรายบุคคล การแสดงสถานะของผู้เรียนรายกลุ่ม การนำเสนอผลการวิเคราะห์โมเดลด้วยแผนภาพ และการแสดงพัฒนาการของผู้เรียน

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงตามบริบท

การเปลี่ยนแปลงตามบริบท [6, 8] เป็นประเด็นที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางจิตวิทยา ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ของผู้เรียนกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในหัวข้อนี้ จะไม่กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีทางจิตวิทยา แต่จะบ่งชี้ให้เห็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงตามบริบทต่อการสร้างวิธีการประเมินผล

การทำความเข้าใจแนวคิดของการเปลี่ยนแปลงตามบริบทนั้น เบื้องต้น ต้องทำความเข้าใจความแตกต่างระหว่างแนวคิดหลัก (Concept) กับบริบท (Context) โดยสามารถอธิบายความแตกต่างดังกล่าว ด้วยตัวอย่างคำถามข้อ 14 - 16 จากแบบทดสอบมาตรฐาน Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA) [10] ดังนี้



รูป 3.1 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 14 - 16

จากรูป 3.1 บริบท คือ คำถามแต่ละข้อที่แสดงถึงสถานการณ์ต่างๆ ในขณะที่ แนวคิดหลัก คือ เนื้อหาที่เป็นจุดร่วมของคำถามดังกล่าว ในที่นี้ แนวคิดหลัก คือ ศักย์ไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยที่ การเปลี่ยนแปลงตามบริบท หมายถึง การที่ความรู้ของผู้เรียนมีการเชื่อมโยงกับบริบท

การเปลี่ยนแปลงตามบริบทก่อให้เกิดปัญหาบางประการที่ส่งผลต่อการเรียนการสอน และส่งผลต่อเนื่องไปยังวิธีการประเมินผล ดังนี้

จากรูป 3.1 จะเห็นว่า คำถามทั้ง 3 ข้อ แสดงบริบทที่แตกต่างกัน 3 บริบท ภายใต้แนวคิดหลักเดียวกัน ดังนั้น หากผู้เรียนมีความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับแนวคิดหลัก แสดงว่า ผู้เรียนสามารถใช้ความรู้ดังกล่าวตอบคำถามได้ถูกต้องทั้ง 3 คำถาม ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การเปลี่ยนแปลงตามบริบททำให้ความรู้ของผู้เรียนเชื่อมโยงกับบริบทมากกว่าเชื่อมโยงกับแนวคิดหลักของเนื้อหา เห็นได้จากการที่ผู้เรียนอาจจะตอบคำถามถูกเพียงบางข้อเท่านั้น เช่น ตอบคำถามข้อ 14 ได้ถูกต้อง แต่ตอบคำถามข้อ 15 และข้อ 16 ผิด ปัญหาดังกล่าวนี้อาจสามารถพบเจอได้บ่อยครั้ง กระทั่งมีงานวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษาหลายๆ ชิ้น ที่พยายามศึกษาและบ่งชี้ถึงความสำคัญของปัญหานี้ เช่น จากการศึกษาของ R. Steinberg และ M. Sabella [11] ผู้วิจัยได้ถามคำถามผู้เรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์จาก

มหาวิทยาลัยแมริแลนด์ (University of Maryland) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการออกแบบคำถาม 2 คำถาม ในหัวข้อข้อที่ 1 ของนิวตัน คำถามแรกใช้ประโยคที่ประกอบด้วยคำศัพท์เทคนิค แต่อีกคำถามใช้ประโยคซึ่งประกอบด้วยคำที่ใช้กันในชีวิตประจำวัน โดยเนื้อหาของโจทย์ทั้ง 2 ข้อเหมือนกัน ผลปรากฏว่าผู้เรียนร้อยละ 90 สามารถตอบคำถามแรกได้ถูกต้อง แต่มีผู้เรียน (กลุ่มเดียวกัน) เพียงร้อยละ 54 ที่ตอบคำถามที่สองได้ถูกต้อง

การสร้างวิธีการประเมินผลให้ครอบคลุมปัญหาดังกล่าวข้างต้น ต้องพิจารณาใน 2 ประเด็น ประเด็นแรก การประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ควรจำแนกระหว่างการประเมินความรู้บริบท หรือ ประเมินความรู้แนวคิดหลัก หากเป็นการประเมินผลการเรียนรู้แนวคิดหลัก ต้องใช้แบบทดสอบเป็น ชุดคำถามแสดงบริบทที่แตกต่างกันภายใต้แนวคิดหลักเดียวกัน (ดังตัวอย่างคำถามในรูป 3.1) ประเด็นถัดมา หลักการวัดที่สามารถครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงตามบริบท เป็นหลักการวัดที่ขัดแย้งกับทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory) เนื่องจาก ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม บ่งบอกว่า หากคำถามมีประสิทธิภาพ คำถามจะกลายเป็นเครื่องมือวัดที่เที่ยงตรงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่ถูกวัด (ผู้เรียน) ในขณะที่ การเปลี่ยนแปลงตามบริบทบ่งบอกว่าเครื่องมือวัด (คำถาม) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งที่ถูกวัดเสมอ

ดังนั้น การสร้างวิธีการประเมินผลที่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงตามบริบท ต้องมี 2 องค์ประกอบ นั่นคือ ต้องมีแบบทดสอบที่เป็นชุดคำถาม และต้องมีหลักการวัดแบบใหม่ที่แตกต่างจาก หลักการวัดในทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม

3.1.2 หน่วยความรู้

หลักการพื้นฐานของหน่วยความรู้ (Bit of Knowledge) [6, 8] มีที่มาจากการศึกษาค้นคว้าด้านจิตวิทยาในสาขา *ศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการคิด* (Cognitive Science) [12] ซึ่งเป็นสาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์เมื่อมีการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก นักจิตวิทยาคนสำคัญที่ศึกษาประเด็นนี้ คือ J. Piaget [13] ได้เสนอว่ามนุษย์ทุกคนเกิดมาด้วยความพร้อมที่จะปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยมนุษย์มีแนวโน้มพื้นฐาน 2 ประการ ที่มีติดตัวมาตั้งแต่กำเนิด คือ *การจัดระเบียบ* (Organization) หมายถึง การจัดและรวบรวมสิ่งต่างๆ ภายในความคิด เข้าเป็นระบบอย่างต่อเนื่องและเป็นระเบียบ และ *การปรับตัว* (Adaptation) หมายถึง การปรับเปลี่ยนสิ่งที่อยู่ในความคิดตลอดเวลาที่ยังมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม เพื่อไปสู่สภาพสมดุล

ในเวลาต่อมา มีนักวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษาหลายๆ ท่านนำแนวคิดของ J. Piaget ไปศึกษาค้นคว้าต่อยอด กระทั่งได้ข้อสรุปเป็นแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ เช่น S. Vosniadou [14] ศึกษา

และนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ที่เรียกว่า “Mental Model” หรือ A. diSessa [15] นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ที่ถูกเรียกว่า “Phenomenological Primitive” หรือ J. Minstrell [8] นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ที่เรียกว่า “Facet”

แนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ บ่งบอกว่าผู้เรียนจะตอบสนองต่อบริบทด้วยความรู้ที่มีขอบเขตชัดเจน มีลักษณะเป็นหน่วยที่ไม่ต่อเนื่องและแบ่งแยกไม่ได้ (Irreducible) [6] นอกจากนี้ในทางทฤษฎีแล้ว ในทางปฏิบัติ บ่อยครั้งที่สามารถสังเกตเห็นความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของผู้เรียนกับแนวคิดเกี่ยวกับหน่วยความรู้ ดังในการศึกษาของ J. Minstrell และ A. diSessa พบว่า หากให้ผู้เรียนบรรยายถึงเนื้อหาหัวข้อใดหัวข้อหนึ่งในวิชาฟิสิกส์ ผู้เรียนส่วนใหญ่จะบรรยายด้วยประโยคที่มีขอบเขตเนื้อหาชัดเจน แม้จะเป็นคำบรรยายผิดๆ ก็ตาม เช่น ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ คำบรรยายที่ถูกต้องเกี่ยวกับแนวคิดหลักของกฎคูลอมบ์ คือ “แรงระหว่างคู่จุดประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของขนาดของประจุทั้งสองและเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุ” หากให้ผู้เรียนบรรยายมโนทัศน์ของกฎคูลอมบ์ผู้เรียนอาจจะไม่สามารถบรรยายได้อย่างครบถ้วน เช่น บรรยายว่า “แรงระหว่างคู่จุดประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของขนาดของประจุทั้งสอง” หรือผู้เรียนอาจจะบรรยายผิด เช่น บรรยายว่า “แรงระหว่างคู่จุดประจุ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างประจุ” ทั้งนี้ คำบรรยายดังกล่าวยังคงสัมพันธ์กับเนื้อหาในหัวข้อกฎคูลอมบ์ โดยจะไม่คาบเกี่ยวกับเนื้อหาของหัวข้ออื่นๆ

3.1.3 ทฤษฎีควอนตัม

ในทฤษฎีฟิสิกส์แบบดั้งเดิม (Classical Physics) เราสามารถแสดงสถานะของระบบได้ด้วยตัวแปรพลวัต (Dynamical Variables) [16] โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรพลวัตเหล่านี้ผ่านสมการพื้นฐานต่างๆ และสามารถระบุค่าของตัวแปรพลวัตได้ด้วยการวัด หลักการวัดในฟิสิกส์แบบดั้งเดิมบ่งบอกว่า เราสามารถระบุค่าของตัวแปรพลวัตได้อย่างแจ่มชัด (Well-Define) [16] ด้วยตัวเลขค่าใดค่าหนึ่งเสมอ ทั้งนี้ ในระหว่างการวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่แท้จริงของสิ่งที่ถูกวัด อย่างไรก็ตาม หากเครื่องมือวัดมีประสิทธิภาพ (เช่น มีความเที่ยง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) สูง) จะทำให้สามารถวัดปริมาณต่างๆ ได้สอดคล้องกับปริมาณที่แท้จริงเสมอ โดยเครื่องมือวัดจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่ถูกวัด

แม้ว่าทฤษฎีฟิสิกส์แบบดั้งเดิมสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในระดับมหภาคได้เป็นอย่างดี แต่พบว่าไม่สามารถอธิบายปัญหาบางอย่างในระดับจุลภาคได้ โดยปัญหาแรก ๆ ที่พบคือปัญหาการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black Body) โดย M. Planck นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับควอนตัม (Quantum) [16] ของพลังงาน เพื่อใช้อธิบายปัญหาการแผ่รังสีของวัตถุดำ กล่าวคือ พลังงานจะมีค่า

เป็นห่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง ต่อมาแนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาต่อยอดไปสู่ควอนตัมของแสงที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) เพื่อนำไปอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) และปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect) และพัฒนาไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับควอนตัมของโมเมนตัมเชิงมุมเพื่อใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม นอกจากนี้ แนวคิดเกี่ยวกับควอนตัมยังนำไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับภาวะคู่กัน (Duality) [16] ระหว่างคลื่นกับอนุภาค กล่าวคือ บางครั้งคลื่นจะมีสมบัติเหมือนอนุภาค แต่บางครั้งอนุภาคก็มีคุณสมบัติเหมือนคลื่น โดยเครื่องมือวัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้ของเราเกี่ยวกับการเป็นคลื่นหรืออนุภาค ในที่สุด จึงนำไปสู่ประเด็นปัญหาเกี่ยวกับหลักการวัด ทำให้มีการตีความการวัดแบบใหม่ (ดังสมการ (3.2))

จากปัญหาต่างๆ ข้างต้น ทำให้มีการสร้างทฤษฎีควอนตัมขึ้นมาอธิบายปัญหาดังกล่าว โดยทฤษฎีควอนตัมมีหลักการพื้นฐานหลายประการ [17] แต่ในที่นี้ จะกล่าวถึงเพียงบางประการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โมเดล ดังนี้

- การแสดงสถานะของอนุภาคตัวที่ i ด้วยเวกเตอร์ $|\Psi_i\rangle$ ซึ่งเป็นเวกเตอร์ในปริภูมิฮิลเบิร์ต (Hilbert Space) [18] โดยสามารถกระจายเวกเตอร์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปผลรวมของเวกเตอร์ไอเกน (Eigen Vector, $|\varphi_j\rangle$) ที่มีสมบัติเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) ดังนี้

$$|\Psi_i\rangle = \sum_l C_l |\varphi_l\rangle \quad (3.1)$$

C_l คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจาย และ $|C_l|^2$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาคในสถานะ $|\varphi_l\rangle$

- เมื่อมีการวัดปริมาณทางกายภาพ สถานะ $|\Psi_i\rangle$ จะเกิดการยุบ (Collapse) [19] เป็นสถานะ $|\varphi_l\rangle$ ตัวใดตัวหนึ่งเสมอ ดังนี้

$$|\Psi_i\rangle \xrightarrow{\text{measurement}} |\varphi_l\rangle \quad (3.2)$$

- การวิเคราะห์ระบบที่เป็นกลุ่มอนุภาค จะวิเคราะห์ผ่านตัวดำเนินการความหนาแน่น (Density Operator, ρ) [18] ดังนี้

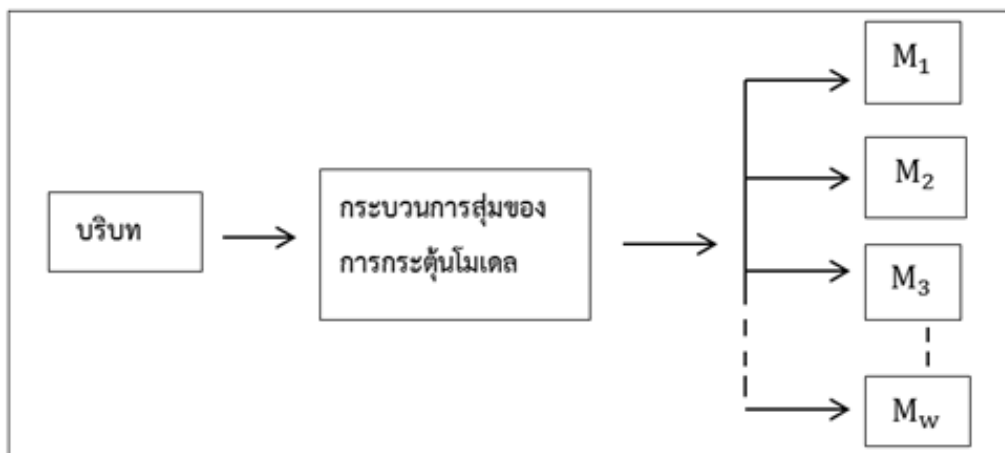
$$\rho = \sum_i w_i |\Psi_i\rangle \langle \Psi_i| \quad (3.3)$$

w_i เป็นสัมประสิทธิ์แสดงสัดส่วนของอนุภาคในสถานะ $|\Psi_i\rangle$

3.1.4 แบบจำลองกระบวนการเรียนรู้ของ L. Bao

แบบจำลองกระบวนการเรียนรู้ของ L. Bao สร้างขึ้นจากแนวคิดต่างๆ ที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1.1 – 3.1.3 สามารถสรุปสาระของแบบจำลองดังกล่าวได้ว่า กระบวนการเรียนรู้ของเราเริ่มต้นจากการที่สมองมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก (บริบท) หลังจากนั้น สมองจะตอบสนองต่อบริบทด้วยการสร้างหน่วยความรู้ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องและแบ่งแยกไม่ได้ เรียกว่า *เมนทัลอิลิเมนต์* (Mental Elements) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ *ข้อเท็จจริง* (Fact) *โมเดล* (Model) และ *หลักการ* (Principle) แต่ในการวิเคราะห์โมเดล จะพิจารณาเมนทัลอิลิเมนต์ประเภท ‘โมเดล’ เท่านั้น โดยมีหลักการเกี่ยวกับโมเดล [6, 8] ดังนี้

- โมเดล $M_1, M_2, M_3, \dots, M_w$ มีลักษณะเป็นหน่วยความรู้ที่ไม่ต่อเนื่อง ไม่สามารถแบ่งแยกหรือลดทอนได้ (ในลักษณะเดียวกับควอนตัมของพลังงาน) โมเดลถูกกำหนดขึ้นบนข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เรียนเป็นรายบุคคล หรืออาจจะใช้วิธีการสำรวจด้วยแบบสอบถาม
- กำหนดให้เนื้อหาฟิสิกส์ 1 หัวข้อ มีขอบเขตของเนื้อหาครอบคลุมแนวคิดหลักเพียง 1 แนวคิดหลักเท่านั้น เรียกขอบเขตดังกล่าวว่า *ขอบเขตแนวคิดหลัก* (Concept Domain) ผู้เรียน 1 คน ต้องมีเซตของโมเดล $\{M_1, M_2, M_3, \dots, M_w\}$ 1 เซต ภายใต้ขอบเขตแนวคิดหลักดังกล่าว
- แสดงโมเดล $M_1, M_2, M_3, \dots, M_w$ ด้วย *เวกเตอร์เชิงตั้งฉาก* (Orthogonal Vector) $|M_1\rangle, |M_2\rangle, |M_3\rangle, \dots, |M_w\rangle$ ที่กระจายในปริภูมิที่เรียกว่า *ปริภูมิโมเดล* (Model Space) โดยเซตของเวกเตอร์เหล่านี้มีลักษณะเป็น *เซตสมบูรณ์* (Complete Set)
- คำถาม (บริบท) ทำหน้าที่กระตุ้นให้ผู้เรียนเลือกใช้โมเดล ผู้เรียนจะเลือกใช้ 1 โมเดลสำหรับ 1 คำถาม โมเดลที่ใช้ตอบคำถามได้ถูกต้องทุกคำถามในขอบเขตแนวคิดหลักใดๆ เรียกว่า *โมเดลถูก* (Expert Model) ซึ่งใน 1 ขอบเขตแนวคิดหลักจะมีโมเดลถูก เพียง 1 โมเดลเท่านั้น โมเดลที่เหลือจะจัดเป็น *โมเดลผิด* (Incorrect Model)
- กระบวนการเลือกใช้โมเดลเป็น *กระบวนการสุ่ม* (Random Process) กล่าวคือ ไม่สามารถบอกได้ว่าผู้เรียนจะใช้โมเดลใดตอบคำถามจนกว่าจะมีการวัด (ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบ) เรียกกระบวนการนี้ว่า *กระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล* (Random Process of Model Triggering) ดังรูป 3.2



รูป 3.2 กระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล [8]

จากรูป 3.2 บริบทจะกระตุ้นให้ผู้เรียนเลือกโมเดล M_1 M_2 M_3 หรือ M_w ด้วยความน่าจะเป็น $q_1 = \frac{n_1}{m}$ $q_2 = \frac{n_2}{m}$ $q_3 = \frac{n_3}{m}$ หรือ $q_w = \frac{n_w}{m}$ ตามลำดับ โดย n_1 n_2 n_3 หรือ n_w คือ จำนวนครั้งที่ผู้เรียนเลือกใช้โมเดล M_1 M_2 M_3 หรือ M_w ตามลำดับ และ m คือ จำนวนคำถามทั้งหมดในขอบเขตแนวคิดหลัก

ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1.1 -3.1.4 นั้น คือแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โมเดล ในหัวข้อถัดไป จะนำเสนอขั้นตอนต่างๆ ของการวิเคราะห์โมเดล

3.1.5 การวัดความรู้ของผู้เรียน

การวัดความรู้ของผู้เรียนในที่นี้ หมายถึง การวัดความรู้เกี่ยวกับแนวคิดหลัก เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงตามบริบทดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.1 จึงต้องใช้เครื่องมือวัดเป็นแบบทดสอบที่มีลักษณะเป็นชุดคำถาม ประกอบด้วยคำถามมากกว่า 1 ข้อ แสดงบริบทที่แตกต่างกัน แต่ยังคงอยู่ภายใต้ขอบเขตแนวคิดหลักเดียวกัน ดังตัวอย่างชุดคำถามในรูป 3.1 จะเห็นว่าคำถามทั้ง 3 คำถาม แม้จะมีบริบทแตกต่างกัน แต่ล้วนอยู่ภายใต้ขอบเขตแนวคิดหลักเดียวกัน คือ ศักย์ไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ในกรณีที่ แบบทดสอบเป็นคำถามแบบเลือกตอบ เราสามารถพิจารณารูปแบบโมเดลของผู้เรียนได้จากตัวเลือก เช่น คำถามในรูป 3.1 มีตัวเลือก ดังรูป 3.3

ก. $+Ew$	จ. $+E\sqrt{h^2 + w^2}$
ข. $-Ew$	ฉ. $-E\sqrt{h^2 + w^2}$
ค. $+Eh$	ช. ศูนย์
ง. $-Eh$	

รูป 3.3 ตัวเลือกของคำถามข้อ 14 – 16 จากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA

จากตัวเลือกในรูป 3.3 เราสามารถจัดกลุ่มตัวเลือกให้สอดคล้องกับโมเดลของผู้เรียน ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 โมเดลของผู้เรียนจากการจัดกลุ่มตัวเลือก

คำถาม	M_1	M_2	M_3
ข้อ 14	ข	ก	ค, ง, จ, ฉ, ช
ข้อ 15	ช	ค, ง	ก, ข, จ, ฉ
ข้อ 16	ข	ก, จ, ฉ	ค, ง, ช

กำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ที่ผิดแนวคิดหลัก (Misconception) M_3 แสดงความรู้ที่ไม่เกี่ยวข้องข้อกับแนวคิดหลัก ดังนี้

M_1 : สามารถหาความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) ระหว่าง 2 ตำแหน่งในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (\vec{E}) ได้จากสมการ $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x}$ โดย $\Delta \vec{x}$ คือการกระจัดระหว่าง 2 ตำแหน่ง สมการนี้แสดงว่า ศักย์ไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับเส้นทางระหว่าง 2 ตำแหน่ง นอกจากนั้น ต้องคำนึงถึงมุมระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัดด้วย

M_2 : ความรู้ผิดแนวคิดหลักรูปแบบต่างๆ เช่น ศักย์ไฟฟ้าขึ้นกับเส้นทาง หรือการไม่คำนึงถึงเครื่องหมายลบ หรือการหาผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัด โดยไม่คำนึงถึงมุมระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัด เป็นต้น

M_3 : คือกรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องข้อกับแนวคิดหลัก

3.1.6 การแสดงสถานะของผู้เรียนรายบุคคล

การวิเคราะห์โมเดลมีวิธีการแสดงสถานะของผู้เรียนรายบุคคลด้วยเวกเตอร์ ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์คะแนน ที่แสดงสถานะของผู้เรียนรายบุคคลด้วยคะแนนที่เป็นสเกลาร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ผู้เรียนแต่ละคนมีโมเดล 3 โมเดล กล่าวคือ ให้ M_1 แสดงถึงความรู้ที่ถูกต้องของผู้เรียน ให้ M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงว่าผู้เรียนไม่มีความรู้เกี่ยวกับแนวคิดหลัก สามารถแสดงสถานะของผู้เรียนคนที่ k ด้วยเวกเตอร์บรรทัดฐาน (Normalized Vector) ซึ่งเรียกว่าเวกเตอร์โมเดลผู้เรียน (Student Model Vector, $|u_k\rangle$) ดังนี้

$$|u_k\rangle = \sqrt{q_{1k}} |M_1\rangle + \sqrt{q_{2k}} |M_2\rangle + \sqrt{q_{3k}} |M_3\rangle \quad (3.4)$$

q_{1k} q_{2k} และ q_{3k} คือ ความน่าจะเป็นในการใช้โมเดล M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ หรือแสดงในรูปของเมทริกซ์ได้ว่า

$$|u_k\rangle = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} \sqrt{n_{1k}} \\ \sqrt{n_{2k}} \\ \sqrt{n_{3k}} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

n_{1k} n_{2k} และ n_{3k} คือ จำนวนครั้งที่ผู้เรียนคนที่ k ใช้โมเดล M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ m คือ จำนวนคำถามทั้งหมด ทั้งนี้ จะเห็นว่า n_{1k} คือ จำนวนครั้งที่ผู้เรียนคนที่ k ตอบคำถามด้วยความรู้ที่ถูกต้อง ดังนั้น หากเปรียบเทียบกับกรวิเคราะห์คะแนนจากสมการ (2.1) จะเห็นว่า n_{1k} คือ คะแนนของผู้เรียนคนที่ k ($n_{1k} = X_k$)

3.1.7 การแสดงสถานะของผู้เรียนรายกลุ่ม

การแสดงสถานะของผู้เรียนรายกลุ่ม เริ่มจากการนิยาม เมทริกซ์ความหนาแน่นโมเดล (Model Density Matrix, \mathcal{D}_k) ของผู้เรียนคนที่ k ดังนี้

$$\mathcal{D}_k = |u_k\rangle\langle u_k| \quad (3.6)$$

แทนด้วยสมการ (3.5) จะได้ว่า

$$\mathcal{D}_k = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} n_{1k} & \sqrt{n_{1k}n_{2k}} & \sqrt{n_{1k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{2k}n_{1k}} & n_{2k} & \sqrt{n_{2k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{3k}n_{1k}} & \sqrt{n_{3k}n_{2k}} & n_{3k} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

ตัวอย่างสถานะของผู้เรียน แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แสดงตัวอย่างสถานะของผู้เรียนสำหรับ 4 คำถาม 3 โมเดล

No.	n_{1k}	n_{2k}	n_{3k}	$ u_k\rangle$	$ u_k\rangle\langle u_k $	No.	n_{1k}	n_{2k}	n_{3k}	$ u_k\rangle$	$ u_k\rangle\langle u_k $
1	4	0	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	9	1	0	3	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0 & 0.43 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0 & 0.75 \end{bmatrix}$
2	0	4	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{4} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	10	2	2	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
3	0	0	4	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sqrt{4} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	11	2	0	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ 0 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.50 & 0 & 0.50 \end{bmatrix}$
4	3	1	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0.43 & 0 \\ 0.43 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	12	0	2	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix}$
5	3	0	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0 & 0.43 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0 & 0.25 \end{bmatrix}$	13	2	1	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0.35 & 0.35 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix}$
6	0	3	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.43 \\ 0 & 0.43 & 0.25 \end{bmatrix}$	14	1	2	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ \sqrt{2} \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.35 & 0.25 \\ 0.35 & 0.50 & 0.35 \\ 0.25 & 0.35 & 0.25 \end{bmatrix}$
7	1	3	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.43 & 0 \\ 0.43 & 0.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	15	1	1	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & 0.35 \\ 0.25 & 0.25 & 0.35 \\ 0.35 & 0.35 & 0.50 \end{bmatrix}$
8	0	1	3	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.43 \\ 0 & 0.43 & 0.75 \end{bmatrix}$	-	-	-	-	-	-

สถานะของผู้เรียนจากตาราง 3.2 คือ กรณีที่กำหนดให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบซึ่งมี 4 คำถาม และแบ่งกลุ่มโมเดลของผู้เรียนเป็น 3 โมเดล จะเห็นว่า สถานะของผู้เรียนที่เป็นไปได้มี 15 สถานะ โดยสถานะที่ 1-3 เป็นสถานะเดี่ยว (Pure State) และสถานะที่ 4-15 เป็นสถานะผสม (Mixed State) โดยสถานะผสมมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าสถานะเดี่ยว สถานะผสมของผู้เรียนอาจจะเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ โดยหนึ่งในสาเหตุดังกล่าว คือ การเปลี่ยนแปลงตามบริบท (หัวข้อ 3.1.1) ซึ่งจะตีความสถานะแต่ละสถานะในรายละเอียดอีกครั้งในส่วนของการอภิปราย (หัวข้อ 3.2.1)

หลังจากนิยามเมทริกซ์ \mathcal{D}_k แล้ว ใช้เมทริกซ์ \mathcal{D}_k นิยามเมทริกซ์ความหนาแน่นโมเดลกลุ่ม (Class Model Density Matrix, \mathcal{D}) ดังนี้

$$\mathcal{D} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |u_k\rangle\langle u_k| \quad (3.8)$$

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด เราสามารถจัดรูปเมทริกซ์ \mathcal{D} ให้อยู่ในรูปการกระจายของสถานะต่างๆ ดังนี้

$$\mathcal{D} = \sum_{i=1}^L \frac{a_i}{N} |u_i\rangle\langle u_i| \quad (3.9)$$

$|u_i\rangle$ คือ เวกเตอร์โมเดลผู้เรียนในสถานะ i และ L คือ จำนวนสถานะที่เป็นไปได้ (ในกรณี 4 คำถาม 3 โมเดล ดังตาราง 3.2 จะเห็นว่า จำนวนสถานะ $L = 15$) โดยสัมประสิทธิ์ $\frac{a_i}{N}$ คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนผู้เรียนที่มีสถานะ i ต่อจำนวนผู้เรียนทั้งหมด N คน

จากสมการ (3.7) จะเห็นว่า *สังยุค* (Conjugate) ของเมทริกซ์ \mathcal{D}_k เท่ากับเมทริกซ์ \mathcal{D}_k เสมอ ($\mathcal{D}_k = \mathcal{D}_k^*$) เนื่องจาก n_{1k} n_{2k} และ n_{3k} เป็นจำนวนจริง และเห็นได้ว่า เมทริกซ์สลับเปลี่ยน (Transpose Matrix) ของเมทริกซ์ \mathcal{D}_k เท่ากับเมทริกซ์ \mathcal{D}_k เสมอ ($\mathcal{D}_k = \mathcal{D}_k^T$) เนื่องจากการคูณของจำนวนจริงมีสมบัติการสลับที่ ดังนั้น เมทริกซ์ \mathcal{D}_k เป็นเมทริกซ์เฮอร์มิเชียน (Hermitian Matrix) เนื่องจาก $\mathcal{D}_k = (\mathcal{D}_k^*)^T$ เป็นผลให้เมทริกซ์ \mathcal{D} เป็นเมทริกซ์เฮอร์มิเชียนเช่นเดียวกัน เนื่องจากเมทริกซ์ \mathcal{D} คือค่าเฉลี่ยของเมทริกซ์ \mathcal{D}_k ทำให้ $\mathcal{D} = (\mathcal{D}^*)^T$

จากปัญหาค่าไอเกน (Eigenvalue Problem) สามารถหาค่าไอเกน (Eigenvalue) และเวกเตอร์ไอเกน (Eigenvector) ของเมทริกซ์เฮอร์มิเชียน \mathcal{D} โดยกำหนดให้ $|\mathbf{v}_\mu\rangle$ คือ เวกเตอร์ไอเกนตัวที่ μ สอดคล้องกับค่าไอเกน σ_μ^2 ตัวที่ μ ดังนี้

$$|\mathbf{v}_1\rangle = \begin{bmatrix} v_{11} \\ v_{21} \\ v_{31} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$|\mathbf{v}_2\rangle = \begin{bmatrix} v_{12} \\ v_{22} \\ v_{32} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$|\mathbf{v}_3\rangle = \begin{bmatrix} v_{13} \\ v_{23} \\ v_{33} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$v_{1\mu}$ $v_{2\mu}$ และ $v_{3\mu}$ คือ องค์ประกอบของเวกเตอร์ไอเกนตัวที่ μ เนื่องจากเมทริกซ์ \mathcal{D} เป็นเมทริกซ์เฮอร์มิเชียน ดังนั้น ค่าไอเกน σ_μ^2 มีค่าเป็นจำนวนจริงเสมอ และเวกเตอร์ไอเกน $|\mathbf{v}_1\rangle$ $|\mathbf{v}_2\rangle$ และ $|\mathbf{v}_3\rangle$ มีสมบัติเชิงตั้งฉาก นอกจากนั้น สามารถทำให้เวกเตอร์ไอเกนแต่ละตัวอยู่ในรูปของเวกเตอร์ที่ถูกทำให้เป็นปกติ ดังนั้น เวกเตอร์ไอเกนแต่ละตัว จึงเป็นเวกเตอร์เชิงตั้งฉากปกติ (Orthonormal Vector)

จากปัญหาค่าไอเกน เราทราบว่า สามารถแปลงเมทริกซ์เฮอร์มิเชียน \mathcal{D} เป็นเมทริกซ์แนวทแยงได้เสมอ โดยเมทริกซ์เฮอร์มิเชียน \mathcal{D} มีสมบัติดังสมการ (3.13)

$$V^T \mathcal{D} V = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

โดยที่ V หาได้จากการนำองค์ประกอบของเวกเตอร์ไอเกนมาเรียงกัน ดังนี้

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

เนื่องจาก เวกเตอร์ไอเกนแต่ละตัว เป็นเวกเตอร์เชิงตั้งฉากปกติ ดังนั้น ผลคูณระหว่างเมทริกซ์ V กับ เมทริกซ์สลับเปลี่ยน V^T เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ I เสมอ กล่าวคือ $V^T V = V V^T = I$ ดังนั้น

$$D = V(V^T D V)V^T \quad (3.15)$$

หรือ

$$D = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & v_{31} \\ v_{12} & v_{22} & v_{32} \\ v_{13} & v_{23} & v_{33} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

จัดรูปสมการ (3.16) ได้ดังนี้

$$D = \sigma_1^2 \begin{bmatrix} v_{11}v_{11} & v_{11}v_{21} & v_{11}v_{31} \\ v_{21}v_{11} & v_{21}v_{21} & v_{21}v_{31} \\ v_{31}v_{11} & v_{31}v_{21} & v_{31}v_{31} \end{bmatrix} + \sigma_2^2 \begin{bmatrix} v_{12}v_{12} & v_{12}v_{22} & v_{12}v_{32} \\ v_{22}v_{12} & v_{22}v_{22} & v_{22}v_{32} \\ v_{32}v_{12} & v_{32}v_{22} & v_{32}v_{32} \end{bmatrix} + \sigma_3^2 \begin{bmatrix} v_{13}v_{13} & v_{13}v_{23} & v_{13}v_{33} \\ v_{23}v_{13} & v_{23}v_{23} & v_{23}v_{33} \\ v_{33}v_{13} & v_{33}v_{23} & v_{33}v_{33} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

จัดรูปสมการ (3.17) ให้อยู่ในรูปผลคูณภายนอกของเวกเตอร์ไอเกน ดังนี้

$$D = \sigma_1^2 |\mathbf{v}_1\rangle\langle\mathbf{v}_1| + \sigma_2^2 |\mathbf{v}_2\rangle\langle\mathbf{v}_2| + \sigma_3^2 |\mathbf{v}_3\rangle\langle\mathbf{v}_3| \quad (3.18)$$

หรือ

$$D = \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 |\mathbf{v}_{\mu}\rangle\langle\mathbf{v}_{\mu}| \quad (3.19)$$

จากสมการ (3.19) จะเห็นว่า นอกจากสามารถแสดงเมทริกซ์ความหนาแน่นโมเดลกลุ่ม D ในรูปค่าเฉลี่ยของผลคูณภายนอกของเวกเตอร์โมเดลผู้เรียน ดังสมการ (3.8-3.9) แล้ว สามารถแสดงเมทริกซ์ความหนาแน่นโมเดลกลุ่ม D ในรูปค่าเฉลี่ยของผลคูณภายนอกของเวกเตอร์ไอเกน $|\mathbf{v}_{\mu}\rangle$ ได้ อีกด้วย โดยค่าไอเกน σ_{μ}^2 แสดงน้ำหนัก (weight) ของค่าเฉลี่ยดังกล่าว ทั้งนี้ สามารถเปรียบเทียบระหว่างสมการ (3.19) กับสมการ (3.9) ดังรูป 3.4

$$\begin{array}{c}
 \mathcal{D} = \sum_{i=1}^L \frac{a_i}{N} |u_i\rangle\langle u_i| \\
 \downarrow \quad \downarrow \\
 \mathcal{D} = \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 |v_{\mu}\rangle\langle v_{\mu}|
 \end{array}$$

รูป 3.4 เปรียบเทียบระหว่างเมทริกซ์ \mathcal{D} จากสมการ (3.19) กับสมการ (3.9)

จากรูป 3.4 เห็นได้ว่า สามารถแสดงเวกเตอร์ $|u_i\rangle$ จำนวน L สถานะ ด้วยเวกเตอร์ไอเกน $|v_{\mu}\rangle$ เพียง 3 สถานะเท่านั้น และสามารถแสดง ค่าสัมประสิทธิ์ $\frac{a_i}{N}$ จำนวน L ค่า ด้วยค่าไอเกน σ_{μ}^2 เพียง 3 ค่า ซึ่งจากรูป 3.4 จะเห็นว่า ค่าไอเกน σ_{μ}^2 แสดงสัดส่วนผู้เรียนที่มีสถานะสอดคล้องกับเวกเตอร์ไอเกน $|v_{\mu}\rangle$

จากเวกเตอร์ไอเกน $|v_{\mu}\rangle$ จำนวน 3 สถานะ เราสามารถเลือกใช้เวกเตอร์ไอเกนที่ให้ค่าไอเกนสูงสุด แสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียน เรียกว่า *เวกเตอร์โมเดลกลุ่ม* (Class Model Vectors) โดยกำหนดให้ $|v_p\rangle$ คือ เวกเตอร์โมเดลกลุ่ม และ σ_p^2 เป็นค่าไอเกนสูงสุด ดังนี้

$$|v_p\rangle = \begin{bmatrix} v_{1p} \\ v_{2p} \\ v_{3p} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

v_{1p} v_{2p} และ v_{3p} คือ องค์ประกอบเวกเตอร์ $|v_p\rangle$

ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1.6 – 3.1.7 ได้ข้อสรุปว่า เราสามารถแสดงสถานะของผู้เรียนรายบุคคลและรายกลุ่มด้วยเวกเตอร์ $|u_i\rangle$ และ $|v_p\rangle$ ตามลำดับ ทั้งนี้ ต้องคำนึงว่า $|v_p\rangle$ แสดงสถานะของผู้เรียนในสัดส่วน σ_p^2 จากจำนวนผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม เรียกสถานะนี้ว่า *สถานะโมเดลปฐมภูมิ* (Primary Model State) ในกรณีที่สัดส่วนผู้เรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิมีน้อย (σ_p^2 มีค่าน้อย) อาจจะทำให้สถานะโมเดลปฐมภูมิไม่ครอบคลุมสถานะของผู้เรียนส่วนใหญ่ในกลุ่ม ดังนั้น ในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao จึงกำหนดค่าไอเกนขั้นต่ำไว้ที่ 0.8 [6, 8]

3.1.8 ความหมายของเวกเตอร์โมเดลกลุ่ม

เราสามารถพิจารณาความหมายของเวกเตอร์โมเดลกลุ่มในทำนองเดียวกับเวกเตอร์โมเดลผู้เรียน (รายบุคคล) กล่าวคือ สามารถแสดงความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้ M_1 M_2 และ M_3 ด้วย v_{1p}^2 v_{2p}^2 และ v_{3p}^2 ตามลำดับ โดยที่

$$v_{1p}^2 + v_{2p}^2 + v_{3p}^2 = 1 \quad (3.21)$$

ทั้งนี้ เนื่องจาก v_{1p}^2 v_{2p}^2 และ v_{3p}^2 คือ ความน่าจะเป็นแสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ซึ่งมีสัดส่วนผู้เรียนเป็น σ_p^2 จากผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม ดังนั้น ในการนิยามความน่าจะเป็นของกลุ่ม จึงต้องคำนึงถึงสัดส่วนของผู้เรียนด้วย ดังนี้

$$P_1 = \sigma_p^2 v_{1p}^2 \quad (3.22)$$

$$P_2 = \sigma_p^2 v_{2p}^2 \quad (3.23)$$

$$P_3 = \sigma_p^2 v_{3p}^2 \quad (3.24)$$

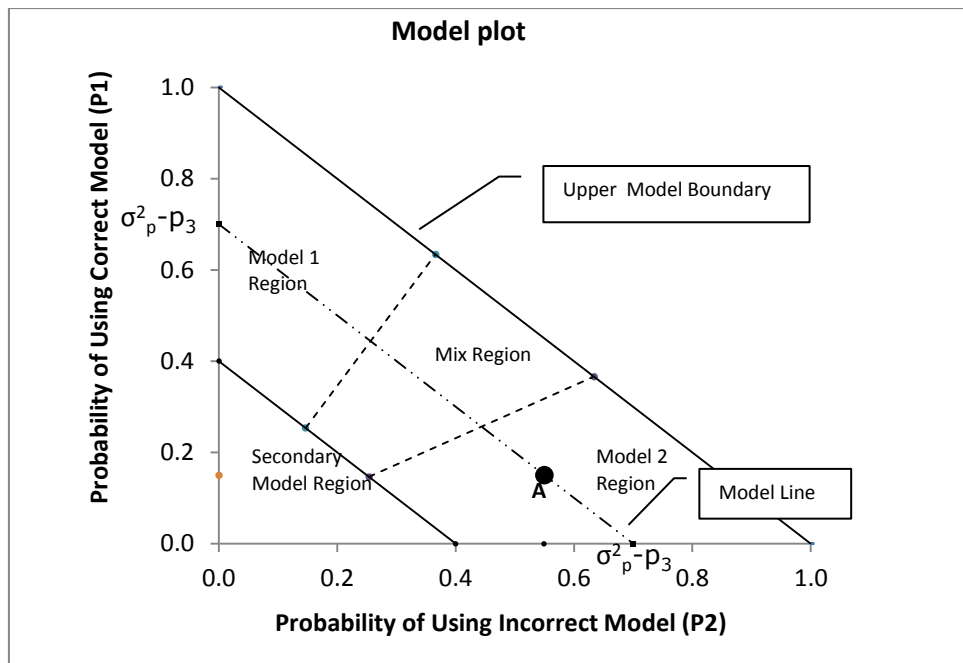
P_1 P_2 และ P_3 คือ ความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้ M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ เมื่อนำค่าไอเกน σ_p^2 คูณตลอด 2 ข้างของสมการ (3.21) ได้ว่า

$$\sigma_p^2 v_{1p}^2 + \sigma_p^2 v_{2p}^2 + \sigma_p^2 v_{3p}^2 = \sigma_p^2 \quad (3.25)$$

และสามารถจัดรูปสมการ (3.25) ได้ว่า

$$P_1 = -P_2 + (\sigma_p^2 - P_3) \quad (3.26)$$

หลังจากดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ กระทั่งได้ผลการวิเคราะห์โมเดลในรูปของความน่าจะเป็น P_1 P_2 P_3 และค่าไอเกน σ_p^2 สามารถแสดงผลการวิเคราะห์โมเดลด้วยแผนภาพ 2 มิติ เรียกว่า *แผนภาพโมเดล* ดังรูป 3.5



รูป 3.5 แผนภาพโมเดล [8]

จากรูป 3.5 แผนภาพโมเดลประกอบด้วย 2 แกน แกนตั้งแสดงความน่าจะเป็น P_1 และแกนนอนแสดง P_2 โดยแสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียนด้วยจุด A เรียกว่า จุดโมเดล (Model Point) จุดโมเดลจะอยู่บนเส้นตรง $P_1 = -P_2 + (\sigma_p^2 - P_3)$ เสมอ เรียกว่า เส้นโมเดล (Model Line) เมื่อ σ_p^2 มีค่าสูงสุด (คือ 1) และ P_3 มีค่าต่ำสุด (คือ 0) จะทำให้เส้นโมเดลทับกับเส้นขอบเขตโมเดลบน (Upper Model Boundary) ซึ่งเป็นเส้นที่ผ่านจุด (0,1) และจุด (1,0) โดยระยะระหว่างเส้นขอบเขตโมเดลบนกับเส้นโมเดลบ่งบอกถึง P_3 หรือ σ_p^2 กล่าวคือ หากระยะห่างมีค่ามาก บ่งบอกว่า P_3 มีค่ามาก หรือ σ_p^2 มีค่าน้อย ในทางกลับกัน หากระยะห่างมีค่าน้อย บ่งบอกว่า P_3 มีค่าน้อย หรือ σ_p^2 มีค่ามาก

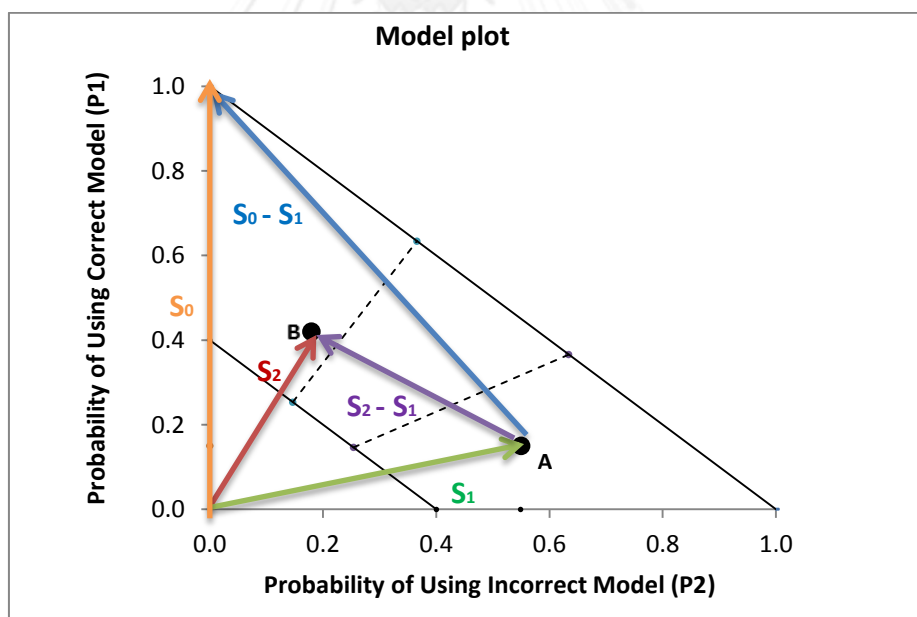
บริเวณแต่ละบริเวณแสดงสถานะที่แตกต่างกันของกลุ่มผู้เรียน กล่าวคือ บริเวณโมเดล 1 (Model 1 Region) แสดงความรู้ที่ถูกต้อง บริเวณโมเดล 2 (Model 2 Region) แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และบริเวณผสม (Mix Region) แสดงว่าความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท นอกจากนี้ ในกรณีที่ σ_p^2 มีค่าน้อย (หรือ P_3 มีค่ามาก) จะทำให้ P_1 และ P_2 มีค่าน้อยลง ส่งผลให้จุดโมเดลถอยห่างจากเส้นขอบเขตบนจนกระทั่งถึงบริเวณโมเดลทุติยภูมิ (Secondary Model Region) ซึ่งกำหนดไว้ที่ $P_1 + P_2 \leq 0.4$ [8] หากจุดโมเดลอยู่ในบริเวณโมเดลทุติยภูมิ บ่งบอกว่ากลุ่มผู้เรียนมีค่าไอเกน $\sigma_p^2 \leq 0.4$ (เมื่อ P_3 มีค่าน้อยมาก) แสดงว่าจุดโมเดลสอดคล้องกับสถานะของผู้เรียนส่วนน้อยเท่านั้น

นั่นคือ มีสัดส่วนน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 จากผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม ดังนั้น ไม่ควรใช้จุดโมเดลที่อยู่ในบริเวณโมเดลทุติยภูมิแสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียน

จากหัวข้อ 3.1.5 – 3.1.8 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่บ่งบอกถึงสมรรถนะของผู้เรียน ทั้งรายบุคคลและรายกลุ่ม อย่างไรก็ตาม นอกจากข้อเสนอแนะที่บ่งบอกถึงสมรรถนะของผู้เรียนแล้ว การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อเสนอแนะที่บ่งบอกถึงพัฒนาการของผู้เรียนได้อีกด้วย โดยสามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียนได้ด้วยค่าพัฒนาการโมเดล (Model Improvement) [8]

3.1.9 พัฒนาการโมเดล

จากแผนภาพโมเดลในรูป 3.5 กำหนดให้ จุดโมเดลก่อนเรียน (A) แสดงสถานะก่อนเรียนของกลุ่ม และจุดโมเดลหลังเรียน (B) แสดงสถานะหลังเรียนของกลุ่ม S_1 และ S_2 คือ เวกเตอร์ที่ลากจากจุดกำเนิดไปยังจุดโมเดลก่อนและหลังเรียน ตามลำดับ โดย S_0 คือ เวกเตอร์ที่ลากจากจุดกำเนิดไปยังจุด $P_1 = 1$ ดังรูป 3.6



รูป 3.6 แผนภาพโมเดลแสดงการเลื่อนของจุดโมเดลจากจุด A ไปยังจุด B

จากรูป 3.6 นิยามพัฒนาการโมเดล (M) [8] ดังนี้

$$M = \frac{(S_0 - S_1) \cdot (S_2 - S_1)}{|(S_0 - S_1)|^2} \quad (3.27)$$

เนื่องจากในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] ไม่ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับ M ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้พยายามศึกษาและตีความ M ซึ่งจะกล่าวถึงประเด็นนี้ในหัวข้อการอภิปราย

ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1 นั้น เป็นรายละเอียดในเชิงทฤษฎีและขั้นตอนต่างๆ ของการวิเคราะห์โมเดล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรายละเอียดตามที่ปรากฏในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] ทั้งนี้ อาจจะมีเนื้อหาบางประเด็นที่ถูกเพิ่มเติมเข้าไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้ผู้อ่านวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทำความเข้าใจประเด็นต่างๆ ได้ง่ายขึ้นเท่านั้น ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่ออภิปรายหรือแสดงความคิดเห็นใดๆ สำหรับการอภิปรายแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับประเด็นต่างๆ นั้น จะนำเสนอในหัวข้อ 3.2

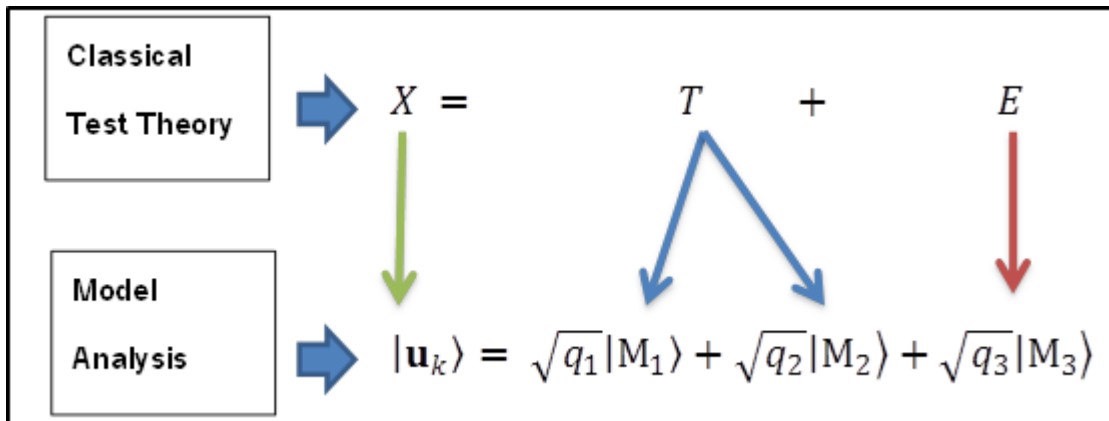
3.2 อภิปราย

หัวข้อนี้ เป็นการอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นต่างๆ ของการวิเคราะห์โมเดล โดยจะอภิปรายใน 3 ประเด็น ได้แก่ การอภิปรายเปรียบเทียบการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน การอภิปรายเปรียบเทียบการวิเคราะห์โมเดลกับสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน และการอภิปรายเกี่ยวกับการนำแนวคิดของทฤษฎีควอนตัมมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โมเดล

3.2.1 อภิปรายเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน

จากการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน พบว่าการวิเคราะห์โมเดลต่างจากการวิเคราะห์คะแนนทั้งในส่วนของทฤษฎี และในส่วนของการใช้งาน ดังนี้

ในส่วนของทฤษฎี การวิเคราะห์คะแนนมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนต่างจากการวิเคราะห์โมเดล ซึ่งพิจารณาได้จาก หัวข้อ 2.2 สมการ (2.3) และสมการ (3.4) โดยสามารถสรุปสาระสำคัญเกี่ยวกับหลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของการวิเคราะห์คะแนนและการวิเคราะห์โมเดล ดังรูป 3.7



รูป 3.7 หลักการแสดงสถานะและวัดสถานะในทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมและการวิเคราะห์โมเดล

จากรูป 3.7 การวิเคราะห์คะแนนมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม ซึ่งแสดงสถานะของผู้เรียนได้ด้วยคะแนน (X) ที่เป็นผลรวมของ 2 องค์ประกอบ ได้แก่ สถานะที่แท้จริง (T) และความคลาดเคลื่อน (E) ในขณะที่ การวิเคราะห์โมเดลแสดงสถานะของผู้เรียนด้วยเวกเตอร์ ($|u_k\rangle$) ที่ประกอบด้วยสถานะที่แท้จริง ($|M_1\rangle$ และ $|M_2\rangle$) และความคลาดเคลื่อน ($|M_3\rangle$) ซึ่งจากรูป 3.7 อธิบายได้ดังนี้

การวิเคราะห์คะแนนแสดงสถานะผู้เรียนด้วยปริมาณสเกลาร์ และระบุว่า ณ เวลาใดๆ ผู้เรียนมีสถานะที่แท้จริง T ได้เพียง 1 สถานะ เท่านั้น โดยเราสามารถวัดคะแนนได้ค่าตัวเลขสอดคล้องกับค่า T เสมอ ทรายปัดที่เครื่องมือวัด (คำถาม) มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งเครื่องมือวัดจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่ถูกวัด ในขณะที่ การวิเคราะห์โมเดลแสดงสถานะผู้เรียนด้วยเวกเตอร์ และระบุว่าผู้เรียนอาจจะมีสถานะที่แท้จริงได้มากกว่า 1 สถานะ ในเวลาเดียวกัน โดยเราไม่สามารถบอกได้ว่าสถานะที่วัดได้คือ $|M_1\rangle$ หรือ $|M_2\rangle$ จนกว่าจะมีการวัด เพราะเครื่องมือวัดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งที่ถูกวัดเสมอ ทั้งนี้ จะเห็นว่าหลักการแสดงสถานะและวัดสถานะในการวิเคราะห์โมเดล แท้ที่จริงแล้ว คือ หลักการที่ถูกประยุกต์มาจากทฤษฎีควอนตัม (ดูหัวข้อ 3.1.3) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับประเด็นนี้อีกครั้งในหัวข้อ 3.2.3

ในส่วนของการใช้งาน การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ *ข้อมูล* (Information) ได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน ในกรณีของผู้เรียนรายบุคคลพิจารณาได้จากตัวอย่างในตาราง 3.3

ตาราง 3.3 แสดงการตีความสถานะโมเดลผู้เรียนสำหรับ 4 คำถาม 3 โมเดล

สถานะ	n_{1k}	n_{2k}	n_{3k}	$ u_k\rangle$	$ u_k\rangle\langle u_k $	ความหมาย
1	4	0	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	ผู้เรียนความรู้ถูกต้อง
2	0	4	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{4} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	ผู้เรียนมีความรู้ผิดแนวคิดหลัก
3	0	0	4	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sqrt{4} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	มีการเดาสุ่ม (เนื่องจากผู้เรียนไม่มีความรู้)
4	3	1	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0.43 & 0 \\ 0.43 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบทโดยมีแนวโน้มไปทางความรู้ที่ถูกต้อง
5	3	0	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0 & 0.43 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0 & 0.25 \end{bmatrix}$	ความรู้ถูกต้อง แต่ขาดความรู้ในบางบริบท
6	0	3	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.43 \\ 0 & 0.43 & 0.25 \end{bmatrix}$	ความรู้ผิดแนวคิดหลัก และขาดความรู้ในบางบริบท
7	1	3	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.43 & 0 \\ 0.43 & 0.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบทโดยมีแนวโน้มผิดแนวคิดหลัก
8	0	1	3	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.43 \\ 0 & 0.43 & 0.75 \end{bmatrix}$	ความรู้ผิดแนวคิดหลัก และมีการเดาสุ่ม
9	1	0	3	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0 & 0.43 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0 & 0.75 \end{bmatrix}$	ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเพียงบางส่วน
10	2	2	0	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท
11	2	0	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ 0 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.50 & 0 & 0.50 \end{bmatrix}$	ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเพียงบางบริบท
12	0	2	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix}$	ความรู้ผิดแนวคิดหลัก และมีการเดาสุ่ม
13	2	1	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.50 & 0.35 & 0.35 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท และมีการเดาสุ่ม
14	1	2	1	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ \sqrt{2} \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.35 & 0.25 \\ 0.35 & 0.50 & 0.35 \\ 0.25 & 0.35 & 0.25 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท และมีการเดาสุ่ม
15	1	1	2	$\frac{1}{\sqrt{4}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & 0.35 \\ 0.25 & 0.25 & 0.35 \\ 0.35 & 0.35 & 0.50 \end{bmatrix}$	ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท และมีการเดาสุ่ม

จากตาราง 3.3 n_{1k} n_{2k} และ n_{3k} คือ จำนวนครั้งที่ผู้เรียนคนที่ k ใช้โมเดล M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ จะเห็นว่า หากแสดงสถานะด้วยคะแนน (n_{1k}) สำหรับคำถาม 4 ข้อ สถานะที่ผู้เรียนตอบมี 5 แบบ ได้แก่ $n_{1k} = 0$ $n_{1k} = 1$ $n_{1k} = 2$ $n_{1k} = 3$ $n_{1k} = 4$ และ $n_{1k} = 5$ ในขณะที่ การแสดงสถานะด้วยเวกเตอร์ ($|u_k\rangle$) สามารถให้สถานะที่แตกต่างกัน 15 แบบ โดยแสดงความหมายของสถานะแต่ละแบบในช่องขวาสุดของตาราง ดังนั้น การแสดงสถานะของผู้เรียนด้วยเวกเตอร์จึงสามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับสมรรถนะของผู้เรียนได้ดีกว่าการแสดงสถานะด้วยคะแนน

ทั้งนี้ เกี่ยวกับการตีความเวกเตอร์ $|u_k\rangle$ ดังช่องขวาสุดในตาราง 3.3 นั้น เป็นเพียงการตีความอย่างง่ายเท่านั้น ซึ่งมีประเด็นปัญหาบางประการที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม ประเด็นแรก คือ กรณีที่คำถามในขอบเขตแนวคิดหลักมีจำนวนน้อย หรือมีจำนวนไม่ครอบคลุมบริบททั้งหมด อาจจะทำให้การตีความขาดความน่าเชื่อถือ (ในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] กำหนดไว้ว่าควรมีจำนวนคำถามตั้งแต่ 5 – คำถามขึ้นไป) ประเด็นถัดมา คือ สถานะผสมระหว่าง $|M_1\rangle$ กับ $|M_2\rangle$ อาจจะไม่ได้อาจเกิดจากความรู้มีการเปลี่ยนแปลงตามบริบทเสมอไป แต่อาจเกิดจากการที่ตัวเลือกของคำถามไม่สอดคล้องกับความรู้ของผู้เรียน

ดังที่กล่าวไปนั้น เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนนของผู้เรียนเป็นรายบุคคล ต่อไปนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบสำหรับผู้เรียนรายกลุ่ม ดังนี้

จากสมการ (3.7) และสมการ (3.8) สามารถแสดงเมทริกซ์ D ได้ดังสมการ (3.28)

$$D = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_{1k} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{1k} n_{2k}} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{1k} n_{3k}} \\ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{2k} n_{1k}} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_{2k} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{2k} n_{3k}} \\ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{3k} n_{1k}} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{n_{3k} n_{2k}} & \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_{3k} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

แทนเวกเตอร์ไอเกน จากสมการ (3.10-3.12) ในสมการ (3.28) ดังนี้

$$D = \begin{bmatrix} \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{1\mu}^2 & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{1\mu} v_{2\mu} & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{1\mu} v_{3\mu} \\ \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{2\mu} v_{1\mu} & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{2\mu}^2 & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{2\mu} v_{3\mu} \\ \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{3\mu} v_{1\mu} & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{3\mu} v_{2\mu} & \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{3\mu}^2 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

จากสมการ (3.28) และสมการ (3.29) จะเห็นว่า

$$\frac{1}{mN} \sum_{k=1}^N n_{1k} = \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 v_{1\mu}^2 \quad (3.30)$$

จากนิยามของคะแนนเฉลี่ย $\langle X \rangle$ ตามสมการ (2.1) เนื่องจาก n_{1k} คือ คะแนนของผู้เรียนคนที่ k ($n_{1k} = X_k$) ดังนั้น $\langle X \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_{1k}$ และสามารถจัดรูปสมการ (3.30) ได้ดังนี้

$$\langle X \rangle = m\sigma_1^2 v_{11}^2 + m\sigma_2^2 v_{12}^2 + m\sigma_3^2 v_{13}^2 \quad (3.31)$$

จากสมการ (3.31) จะเห็นว่า เราสามารถหาคะแนนเฉลี่ยได้จากค่าไอเกน และองค์ประกอบของเวกเตอร์ไอเกน ทั้งนี้ เนื่องจาก เราใช้เวกเตอร์ $|\mathbf{v}_p\rangle$ แสดงสถานะของกลุ่ม (สถานะโมเดลปฐมภูมิ) ดังนั้น สามารถแสดงคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ $\langle X \rangle_p$ ดังนี้

$$\langle X \rangle_p = m\sigma_p^2 v_{1p}^2 \quad (3.32)$$

แทนสมการ (3.22) ในสมการ (3.32) ได้ว่า

$$\langle X \rangle_p = mP_1 \quad (3.33)$$

จากสมการ (3.33) จะเห็นว่า สามารถหาคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิได้จากความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้โมเดล M_1 อย่างไรก็ตาม คะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ $\langle X \rangle_p$ ที่หาได้จากการวิเคราะห์โมเดล แตกต่างจากคะแนนเฉลี่ย $\langle X \rangle$ ในสมการ (2.1) ที่หาได้จากการวิเคราะห์คะแนน กล่าวคือ $\langle X \rangle$ หาได้จากผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม ในขณะที่ $\langle X \rangle_p$ หาได้จากผู้เรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ซึ่งมีจำนวนเป็นสัดส่วน σ_p^2 จากผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม โดย $\langle X \rangle_p$ จะมีค่าใกล้เคียงกับ $\langle X \rangle$ เมื่อค่าไอเกน σ_p^2 มีค่าสูง ($\sigma_p^2 \sim 1$) และ $\langle X \rangle_p = \langle X \rangle$ เมื่อ $\sigma_p^2 = 1$

เกี่ยวกับความแตกต่างระหว่าง $\langle X \rangle$ กับ $\langle X \rangle_p$ เห็นได้ว่า $\langle X \rangle_p$ มีประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับแสดงคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่มีการกระจายของคะแนนสูง ($S.D.$ มีค่าสูง) เนื่องจาก ในกรณีที่กลุ่มผู้เรียนมีค่า $S.D.$ สูง อาจจะทำให้ $\langle X \rangle$ มีค่าไม่สอดคล้องกับคะแนนของผู้เรียนส่วนใหญ่ในกลุ่ม (ดูหัวข้อ 2.1) ดังนั้น ในกรณีที่กลุ่มผู้เรียนมีค่า $S.D.$ สูง การใช้ $\langle X \rangle_p$ แสดงคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มจึงเหมาะสมกว่าการใช้ $\langle X \rangle$ เพราะ $\langle X \rangle_p$ หาได้จากผู้เรียนที่มีสถานะใกล้เคียงกัน

ดังที่กล่าวไปนั้น จะเห็นว่า เราสามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลแทนการวิเคราะห์คะแนน ได้โดยใช้ $\langle X \rangle_p$ แทน $\langle X \rangle$ นอกจากนั้น เราแสดงให้เห็นได้ว่า สามารถใช้ค่าไอเกน σ_p^2 แทน $S.D.$ ได้ด้วย ดังนี้

นำ \mathcal{D} ไปกระทำบน $|\mathbf{v}_\mu\rangle$

$$\mathcal{D}|\mathbf{v}_\mu\rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |\mathbf{u}_k\rangle \langle \mathbf{u}_k | \mathbf{v}_\mu \rangle \quad (3.34)$$

นำ $\langle \mathbf{v}_\mu |$ ไปกระทำทั้ง 2 ข้างของสมการ (3.34)

$$\langle \mathbf{v}_\mu | \mathcal{D} | \mathbf{v}_\mu \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \langle \mathbf{v}_\mu | \mathbf{u}_k \rangle \langle \mathbf{u}_k | \mathbf{v}_\mu \rangle \quad (3.35)$$

เนื่องจาก $\mathcal{D}|\mathbf{v}_\mu\rangle = \sigma_\mu^2|\mathbf{v}_\mu\rangle$ และ $\langle\mathbf{v}_\mu|\mathbf{u}_k\rangle = \langle\mathbf{u}_k|\mathbf{v}_\mu\rangle^*$ ดังนั้น

$$\sigma_\mu^2\langle\mathbf{v}_\mu|\mathbf{v}_\mu\rangle = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^N|\langle\mathbf{u}_k|\mathbf{v}_\mu\rangle|^2 \quad (3.36)$$

เนื่องจาก $|\mathbf{v}_\mu\rangle$ เป็นเวกเตอร์บรรทัดฐาน นั่นคือ $\langle\mathbf{v}_\mu|\mathbf{v}_\mu\rangle = 1$ ดังนั้น

$$\sigma_\mu^2 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^N|\langle\mathbf{u}_k|\mathbf{v}_\mu\rangle|^2 \quad (3.37)$$

จากสมการ (3.37) เมื่อใช้เวกเตอร์ $|\mathbf{v}_p\rangle$ แสดงสถานะของกลุ่ม จะได้ว่า

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^N|\langle\mathbf{u}_k|\mathbf{v}_p\rangle|^2 \quad (3.38)$$

จากสมการ 3.38 จะเห็นว่า ค่าไอเกนขึ้นอยู่กับ*การฉาย* (Projection) ของเวกเตอร์โมเดลผู้เรียน ($|\mathbf{u}_k\rangle$) ของผู้เรียนแต่ละคน ลงบนเวกเตอร์โมเดลกลุ่ม ($|\mathbf{v}_p\rangle$) ดังนั้น ค่าไอเกนจึงแสดงถึงการกระจายของสถานะผู้เรียนแต่ละคนเทียบกับกลุ่ม หากค่าไอเกนมีค่าสูง บ่งบอกว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มีสถานะสอดคล้องไปทางเดียวกัน หรือมีสถานะเกาะกลุ่มกัน ทั้งนี้ การแสดงการกระจายของสถานะผู้เรียนด้วยค่าไอเกน σ_p^2 จะให้ความหมายในทางตรงกันข้ามกับค่า $S.D.$ (หากค่า $S.D.$ มีค่าสูง บ่งบอกว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มีสถานะไม่สอดคล้องไปทางเดียวกัน)

ดังที่กล่าวไปนั้น เราแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลแทนการวิเคราะห์คะแนน นอกจากนั้น จากหัวข้อ 3.1.7 แสดงให้เห็นว่า เราสามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลเพื่อวิเคราะห์ความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียนได้อีกด้วย กล่าวคือ สามารถใช้ P_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก ใช้ P_3 แสดงการเดาสุ่ม และใช้สถานะผสม (P_1 และ P_2 มีค่าใกล้เคียงกัน) แสดงความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท โดยเปรียบเทียบข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและการวิเคราะห์โมเดล ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 เปรียบเทียบข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและการวิเคราะห์โมเดล

ข้อสนเทศ	การวิเคราะห์ คะแนน	การวิเคราะห์ โมเดล	แผนภาพโมเดล
ความรู้ที่ถูกต้อง	$\langle X \rangle$	$\langle X \rangle_p$	บริเวณโมเดล 1
การกระจายของ สถานะผู้เรียน	<i>S. D.</i>	σ_p^2	ระยะห่างระหว่างจุดโมเดลกับเส้นขอบเขต โมเดลบน (ระยะห่างมาก แสดงว่า σ_p^2 น้อย)
ผิดแนวคิดหลัก	-	P_2	บริเวณโมเดล 2
ผู้เรียนไม่มีความรู้ หรือเดาสุ่ม	-	P_3	ระยะห่างระหว่างจุดโมเดลกับเส้นขอบเขต โมเดลบน (ระยะห่างมาก แสดงว่า P_3 มาก)
ความรู้เปลี่ยนแปลง ตามบริบท	-	P_1 และ P_2 มี ค่าใกล้เคียงกัน	บริเวณผสม

จากตาราง 3.4 จะเห็นว่า การวิเคราะห์โมเดลให้ข้อสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน และสามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ในช่องขาวสุดของตาราง 3.3 ได้แสดงข้อสนเทศต่างๆ จากแผนภาพโมเดล

จากการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน ดังที่กล่าวไป ในหัวข้อ 3.2.1 ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์โมเดลและการวิเคราะห์คะแนน แตกต่างกันทั้งในด้านทฤษฎีและด้านการใช้งาน ในด้านทฤษฎี เห็นได้ว่าการวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของผู้เรียนต่างจากการวิเคราะห์คะแนน กล่าวคือ การวิเคราะห์คะแนนใช้หลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของผู้เรียนตามแนวทางของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม ในขณะที่ การวิเคราะห์โมเดลใช้หลักการแสดงสถานะและวัดสถานะของผู้เรียนต่างออกไป (ในหัวข้อ 3.3.3 จะเปรียบเทียบให้เห็นว่าการวิเคราะห์โมเดลใช้หลักการแสดงสถานะและวัดสถานะตามทฤษฎีควอนตัม) ด้านการใช้งาน การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน

3.2.2 อภิปรายเปรียบเทียบการวิเคราะห์โมเดลกับสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

จากหัวข้อ 3.2.1 จะเห็นว่า เราสามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลเพื่อหาคะแนนเฉลี่ยได้ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์คะแนน ในทำนองเดียวกัน เราสามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลหาสัดส่วนเพิ่ม

บรรทัดฐานได้เช่นกัน กล่าวคือ เมื่อใช้เวกเตอร์ $\langle \mathbf{v}_p \rangle$ แสดงสถานะโมเดลปฐมภูมิของกลุ่ม สามารถหา ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ $\langle \%X \rangle_p$ ได้ดังนี้

$$\langle \%X \rangle_p = \frac{\langle X \rangle_p}{m} \times 100 \quad (3.39)$$

จากสมการ (3.33) จะเห็นว่า $\frac{\langle X \rangle_p}{m} = P_1$ ดังนั้น

$$\langle \%X \rangle_p = 100P_1 \quad (3.40)$$

จากนิยามของสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสมการ (2.13) สามารถนิยามสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน เฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ $\langle g \rangle_p$ ได้ดังนี้

$$\langle g \rangle_p = \frac{P_{1f} - P_{1i}}{1 - P_{1i}} \quad (3.41)$$

P_{1i} และ P_{1f} คือ ความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้โมเดล M_1 ก่อนเรียนและหลังเรียน ทั้งนี้ สามารถ อธิบายความแตกต่างระหว่าง $\langle g \rangle$ ในสมการ (2.13) กับ $\langle g \rangle_p$ ในสมการ (3.41) ได้ในทำนองเดียวกับ ความแตกต่างระหว่าง $\langle X \rangle$ กับ $\langle X \rangle_p$ ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.2.1 โดย $\langle g \rangle_p = \langle g \rangle$ เมื่อ $\sigma_p^2 = 1$

ดังที่กล่าวไปนั้น จะเห็นว่าเราสามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียนโดยใช้ $\langle g \rangle_p$ ที่หาได้จาก การวิเคราะห์โมเดลแทน $\langle g \rangle$ ที่หาได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน นอกจากนี้ การวิเคราะห์โมเดลยัง สร้างวิธีการวิเคราะห์พัฒนาการของผู้เรียนอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การแสดงพัฒนาการด้วยค่าพัฒนาการ โมเดล M ดังสมการ (3.27) แต่เนื่องจาก ในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] ไม่ได้กล่าวถึง รายละเอียดของวิธีการนี้ ดังนั้น เราจึงพยายามศึกษารายละเอียดของพัฒนาการโมเดล M ดังนี้

จากสมการ 3.27 กำหนดให้

$$\mathbf{S}_1 = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ P_{2i} \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

P_{1i} และ P_{2i} คือ ความน่าจะเป็นก่อนเรียนที่กลุ่มผู้เรียนใช้โมเดล M_1 และ M_2 ตามลำดับ

$$\mathbf{S}_2 = \begin{bmatrix} P_{1f} \\ P_{2f} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

P_{1f} และ P_{2f} คือ ความน่าจะเป็นหลังเรียนที่กลุ่มผู้เรียนใช้โมเดล M_1 และ M_2 ตามลำดับ

$$S_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

S_0 คือ เวกเตอร์แสดงสมรรถนะสูงสุด เมื่อความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้โมเดล M_1 และ M_2 มีค่าเป็น 1 และ 0 ตามลำดับ

แทนสมการ (3.42 - 3.44) ในสมการ (3.27) ได้ว่า

$$M = \frac{\begin{bmatrix} 1-P_{1i} & -P_{2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{1f}-P_{1i} \\ P_{2f}-P_{2i} \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 1-P_{1i} & -P_{2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-P_{1i} \\ -P_{2i} \end{bmatrix}} \quad (3.45)$$

หรือ

$$M = \frac{(P_{1f}-P_{1i})(1-P_{1i})-(P_{2f}-P_{2i})P_{2i}}{(1-P_{1i})^2+P_{2i}^2} \quad (3.46)$$

จัดรูปโดยใช้ $\langle g \rangle_p$ จากสมการ (3.41) ได้ดังนี้

$$M = \frac{\langle g \rangle_p(1-P_{1i})^2-(P_{2f}-P_{2i})P_{2i}}{(1-P_{1i})^2+P_{2i}^2} \quad (3.47)$$

จากสมการ (3.47) จะเห็นว่า $M = \langle g \rangle_p$ เมื่อ $P_{2i} = 0$ บ่งบอกว่า $\langle g \rangle_p$ เป็นเพียงกรณีเฉพาะของ M เท่านั้น โดยสามารถพิจารณาตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง $\langle g \rangle_p$ กับ M ได้ ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.5 ตัวอย่างค่า $\langle g \rangle_p$ และ M ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	P_{1i}	P_{1f}	P_{2i}	P_{2f}	$\langle g \rangle_p$	M
1	0.20	0.30	0.40	0.30	0.13	0.15
2	0.20	0.30	0.40	0.40	0.13	0.10
3	0.20	0.30	0.40	0.50	0.13	0.05
4	0.20	0.30	0.40	0.7	0.13	-0.05

จากตาราง 3.5 เห็นได้ว่า ทั้ง 4 กรณี มีค่า $\langle g \rangle_p$ เหมือนกัน แต่มีค่า M แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว เป็นผลมาจาก P_{2f} (ความรู้ผิดแนวคิดหลักหลังเรียน) กล่าวคือ ยิ่ง P_{2f} เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน จะยิ่งส่งผลให้ M มีค่าลดลง กระทั่งมีค่าติดลบ (กรณีที่ 4) ดังนั้น นอกจากค่าพัฒนาการโมเดล M แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความรู้ที่ถูกต้อง ($P_{1f} - P_{1i}$) แล้ว ยังแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความรู้ที่ผิดแนวคิดหลัก ($P_{2f} - P_{2i}$) ด้วย แสดงว่า M สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับพัฒนาการของผู้เรียนได้ครอบคลุมกว่า $\langle g \rangle_p$

3.2.3 การประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีควอนตัมในการวิเคราะห์โมเดล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแนวคิดฟิสิกส์ในทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ที่นำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์โมเดล ดังนี้

จากสมการ (3.4) จะเห็นว่า การวิเคราะห์โมเดลใช้หลักการแสดงสถานะของผู้เรียนเหมือนกับหลักการแสดงสถานะของอนุภาคในทฤษฎีควอนตัม กล่าวคือ ในทฤษฎีควอนตัมแสดงสถานะของอนุภาคด้วยเวกเตอร์ $|\Psi_i\rangle$ ดังสมการ (3.1) โดยมีฐาน (Basis) เป็นเวกเตอร์ $|\varphi_1\rangle, |\varphi_2\rangle, |\varphi_3\rangle, \dots, |\varphi_l\rangle$ เวกเตอร์เหล่านี้ แสดงรูปแบบสถานะของอนุภาคที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด l แบบในทำนองเดียวกัน การวิเคราะห์โมเดลแสดงสถานะของผู้เรียนด้วยเวกเตอร์ $|\mathbf{u}_k\rangle$ มีฐานเป็นเวกเตอร์ $|M_1\rangle, |M_2\rangle, |M_3\rangle, \dots, |M_w\rangle$ แสดงรูปแบบสถานะของผู้เรียนที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด w แบบ

นอกจากหลักการเกี่ยวกับการแสดงสถานะของผู้เรียนแล้ว การวิเคราะห์โมเดลยังมีหลักการวัดสถานะของผู้เรียนเหมือนกับหลักการวัดในทฤษฎีควอนตัมอีกด้วย กล่าวคือ ในทฤษฎีควอนตัม แม้อนุภาคสามารถมีสถานะได้หลายสถานะในเวลาเดียวกัน แต่การวัดจะทำให้สถานะเหล่านี้เกิดการยุบเหลือเพียงสถานะใดสถานะหนึ่งเท่านั้น ดังสมการ (3.2) ทำนองเดียวกัน ในการวิเคราะห์โมเดล แม้ว่าผู้เรียนสามารถมีสถานะได้หลายสถานะในเวลาเดียวกัน แต่การวัด (การกระตุ้นด้วยคำถาม) ทำให้ผู้เรียนต้องเลือกใช้โมเดลใดโมเดลหนึ่งเท่านั้น ตามกระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล ดังรูป 3.3

สามารถแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับความสอดคล้องระหว่างการแสดงสถานะและการวัดสถานะของอนุภาคในทฤษฎีควอนตัม กับการแสดงสถานะและการวัดสถานะของผู้เรียนในการวิเคราะห์โมเดล ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 การแสดงสถานะและการวัดสถานะในทฤษฎีควอนตัมและการวิเคราะห์โมเดล

ทฤษฎีควอนตัม	การวิเคราะห์โมเดล
สถานะของอนุภาคตัวที่ i แสดงด้วยเวกเตอร์ $ \Psi_i\rangle$	สถานะผู้เรียนคนที่ k แสดงด้วยเวกเตอร์ $ \mathbf{u}_k\rangle$
เวกเตอร์ฐาน $ \varphi_1\rangle, \varphi_2\rangle, \varphi_3\rangle, \dots, \varphi_l\rangle$ กระจายในปริภูมิฮิลเบิร์ต	เวกเตอร์ฐาน $ M_1\rangle, M_2\rangle, M_3\rangle, \dots, M_w\rangle$ กระจายในปริภูมิโมเดล
กระบวนการวัดของทฤษฎีควอนตัม ระบุว่า เครื่องมือวัดจะทำให้สถานะของอนุภาคเกิดการยุบ ไปสู่สถานะ $ \varphi_l\rangle$ 1 สถานะเสมอ	กระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล ระบุว่า เครื่องมือวัด (คำถาม) กระตุ้นให้ผู้เรียนเลือกใช้ โมเดล M_w 1 โมเดลเสมอ
แสดงโอกาสที่อนุภาคจะยุบไปสู่สถานะ $ \varphi_1\rangle,$ $ \varphi_2\rangle, \varphi_3\rangle, \dots, \varphi_l\rangle$ ด้วยความน่าจะเป็น $ C_1 ^2,$ $ C_2 ^2, C_3 ^2, \dots, C_l ^2$ ตามลำดับ	แสดงโอกาสที่ผู้เรียนเลือกโมเดล $M_1, M_2,$ M_3, \dots, M_w ด้วยความน่าจะเป็น $q_1, q_2, q_3,$ \dots, q_w ตามลำดับ

จากตาราง 3.6 จะเห็นว่า การวิเคราะห์โมเดลได้นำหลักการของทฤษฎีควอนตัมมาประยุกต์ใช้สำหรับแสดงสถานะและวัดสถานะของผู้เรียน

ดังที่กล่าวไปทั้งหมดในบทนี้ สรุปได้ดังนี้

เริ่มต้น ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โมเดล ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงตามบริบท หน่วยความรู้ ทฤษฎีควอนตัม และแบบจำลองกระบวนการเรียนรู้ของ L. Bao ถัดจากนั้น ได้นำเสนอขั้นตอนต่างๆ ของการวิเคราะห์โมเดลตามที่ปรากฏในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] และในช่วงท้ายเป็นการอภิปราย คือ การนำเสนอผลการศึกษารายละเอียดของการวิเคราะห์โมเดล นอกเหนือจากที่ปรากฏในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao ซึ่งได้เสนอไว้ 3 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นแรก เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนน ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะแตกต่างจากการวิเคราะห์คะแนน กล่าวคือ หลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะในการวิเคราะห์โมเดลมาจากทฤษฎีควอนตัม ในขณะที่ หลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะในการวิเคราะห์คะแนน เป็นหลักการที่มาจากทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ เห็นได้ว่า การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อสนเทศที่เกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน ประเด็นถัดมา เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ได้ข้อสรุปว่า การแสดงพัฒนาการของผู้เรียนด้วยค่าพัฒนาการโมเดล จะครอบคลุมความรู้ที่ผิดพลาด

ของผู้เรียนด้วย ในขณะที่ สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานจะจำกัดอยู่แค่ความรู้ที่ถูกต้องเท่านั้น ประเด็นสุดท้าย คือ ศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีควอนตัมในการวิเคราะห์โมเดล ได้ข้อสรุปว่าการวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนในลักษณะเดียวกับหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของอนุภาคในทฤษฎีควอนตัม อย่างไรก็ตาม ในบทนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์โมเดลจากบทความและวิทยานิพนธ์ของ L.Bao [6-8] เท่านั้น ในบทถัดไป (บทที่ 4) เราจะนำการวิเคราะห์โมเดลไปใช้งานจริงในกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะมีการอภิปรายเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานอีกครั้ง แต่ในครั้งถัดไป จะเป็นการอภิปรายผ่านการใช้งานจริง

บทที่ 4

สรุปผลและอภิปราย

บทนี้ เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนพร้อมอภิปราย โดยใช้การวิเคราะห์โมเดล (Model Analysis) การวิเคราะห์คะแนน (Score – Base Analysis) และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) ในช่วงแรก เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล พร้อมอภิปราย ถัดจากนั้น เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 5 กลุ่ม จาก 3 คณะ ได้แก่ คณะวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติ พร้อมอภิปราย และในช่วงท้าย เป็นการนำผลที่ได้ทั้งหมดมาอภิปราย เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์โมเดลกับการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

การนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน จะนำเสนอในรูปแบบของตาราง แผนภาพโมเดล (Model Plot) และฮิสโทแกรม เบื้องต้น สามารถสรุปเครื่องหมายและตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากบทที่ 2-3 ดังนี้

- P_1 P_2 และ P_3 : ความน่าจะเป็นที่กลุ่มผู้เรียนใช้ M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ
- P_{1i} P_{2i} และ P_{3i} : ความน่าจะเป็นก่อนเรียนที่กลุ่มผู้เรียนใช้ M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ
- P_{1f} P_{2f} และ P_{3f} : ความน่าจะเป็นหลังเรียนที่กลุ่มผู้เรียนใช้ M_1 M_2 และ M_3 ตามลำดับ
- σ_p^2 : ค่าไอเกน
- M : พัฒนาการโมเดล
- $\%(X)$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ย
- $\%(X_i)$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน
- $\%(X_f)$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน
- $\%(X)_p$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ
- $\%(X_i)_p$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิ

- $\%(X_f)_p$: ร้อยละคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิ
- $\langle g \rangle$: สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย
- $\langle g \rangle_p$: สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ
- *บริเวณโมเดล 1 (Model 1 Region)*: ความรู้ที่ถูกต้อง
- *บริเวณโมเดล 2 (Model 2 Region)*: ความรู้ผิดแนวคิดหลัก (Misconception)
- *บริเวณผสม (Mix Region)*: ความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท (Context Dependence)
- *บริเวณโมเดลทุติยภูมิ (Secondary Model Region)*: ไม่ควรใช้จุดโมเดลที่อยู่ในบริเวณนี้ แสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียน
- *ระยะระหว่างเส้นขอบเขตโมเดลบน (Upper Model Boundary)* กับจุดโมเดล: หากระยะระหว่างเส้นขอบเขตโมเดลบนกับเส้นโมเดลมีค่ามาก บ่งบอกว่า P_3 มีค่ามาก และ σ_p^2 มีค่าน้อย

ทั้งนี้ การตีความผลการวิเคราะห์โมเดล จะใช้การตีความอย่างง่าย ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

- คำตอบของผู้เรียนสัมพันธ์กับความรู้ของผู้เรียนเสมอ เช่น หากผู้เรียนตอบคำถามถูกต้อง สามารถตีความได้ว่าผู้เรียนมีความรู้ถูกต้องในบริบทนั้นๆ (ในความเป็นจริง ผู้เรียนอาจจะตอบถูกโดยไม่มีความรู้)
- แม้ในบทความและวิทยานิพนธ์ของ L. Bao [6-8] จะกำหนดค่าไอเกนต่ำสุดไว้ที่ 0.8 แต่ในการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างในบทนี้ เรากำหนดค่าไอเกนต่ำสุดไว้ที่ 0.6 เท่านั้น กล่าวคือ ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีค่าไอเกนไม่ต่ำกว่า 0.6 เราจะวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนโดยพิจารณาผลการวิเคราะห์โมเดลเป็นหลัก นั่นคือ หากผลที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คะแนนและสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน เราจะเลือกพิจารณาผลการวิเคราะห์โมเดลเท่านั้น แต่ในกรณีที่กลุ่มผู้เรียนมีค่าไอเกนต่ำกว่า 0.6 เราจะยึดผลการวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเป็นหลัก

4.1 สรุปและอภิปรายผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการ ของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล

ในหัวข้อนี้ เป็นการนำเสนอสรุปและอภิปรายผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล ใน 5 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อกฎคูลอมบ์ (4.1.1) หัวข้อศักย์ไฟฟ้า (4.1.2) หัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน (4.1.3) หัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า (4.1.4) และหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน (4.1.5) โดยหัวข้อ 4.1.1 - 4.1.3 มีขอบเขตของเนื้อหาหรือขอบเขตแนวคิดหลัก (Concept Domain) ครอบคลุม 1 แนวคิดหลักเท่านั้น ในขณะที่หัวข้อ 4.1.4 มีเนื้อหาครอบคลุม 2 แนวคิดหลัก และหัวข้อ 4.1.5 มีเนื้อหาครอบคลุม 3 แนวคิดหลัก ทั้งนี้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการสอนแบบบรรยายและให้การบ้าน ส่วนมหาวิทยาลัยมหิดลสอนโดยใช้แผ่นงาน (Work Sheet) ประกอบการบรรยาย

4.1.1 หัวข้อกฎคูลอมบ์

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในหัวข้อนี้ ประกอบด้วยผู้เรียน 6 กลุ่ม ได้แก่ 3 กลุ่มจากนิสิต ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553 จำนวน 55 คน ปีการศึกษา 2554 จำนวน 87 คน และปีการศึกษา 2555 จำนวน 77 คน (CU2553 CU2554 และ CU2555) และ 3 กลุ่มจากนักศึกษา ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2553 จำนวน 205 คน ปีการศึกษา 2554 จำนวน 258 คน และปีการศึกษา 2555 จำนวน 163 คน (MU2553 MU2554 และ MU2555) โดยใช้คำถาม 3 คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน Brief Electricity and Magnetism Assessment (BEMA) [19] ข้อ 1-3 เนื้อหาของคำถามเกี่ยวกับแรงระหว่างคู่จุดประจุ คำถามข้อที่ 1 มีเนื้อหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขนาดของประจุ คำถามข้อที่ 2 เกี่ยวกับขนาดของแรงกระทำบนแต่ละประจุ และคำถามข้อที่ 3 มีเนื้อหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะห่างระหว่าง 2 ประจุ (ภาคผนวก ก) โดยกำหนดโมเดล (Model) ของผู้เรียน ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ แรงระหว่างคู่จุดประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของขนาดของประจุทั้งสองและเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุ

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก ในลักษณะต่างๆ เช่น แรงระหว่างจุดประจุไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณขนาดของประจุ หรือไม่เป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุ เป็นต้น

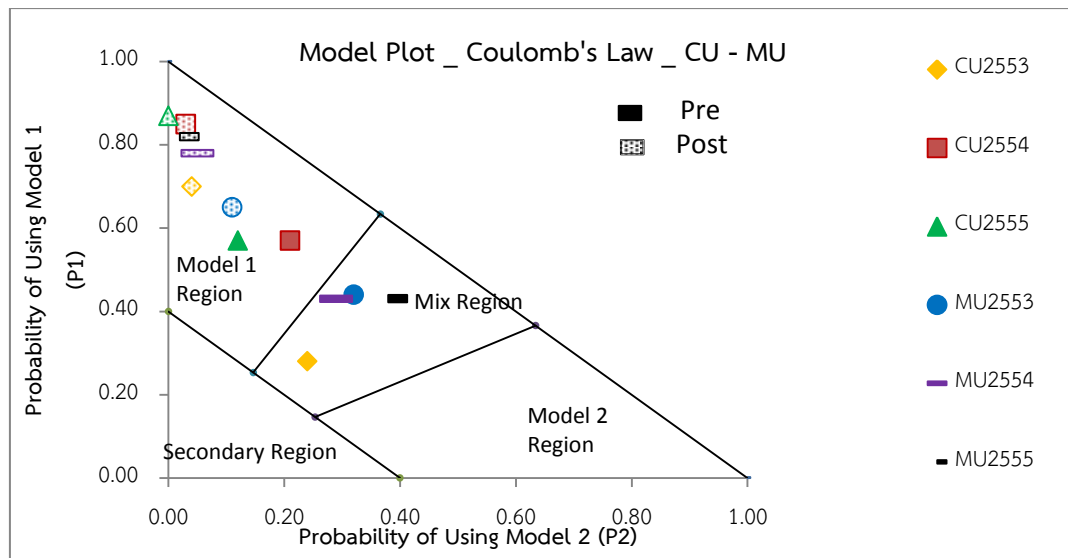
M_3 : แสดงความผิดพลาดรูปแบบต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากผู้เรียนไม่มีความรู้ เช่น กรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือก “ไม่มีข้อถูก” ทั้งที่มีตัวเลือกที่ถูกต้อง หรือกรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในหัวข้อ

แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
CU2553	38.67	28.00	0.61	0.28	0.24	0.09	71.00	70.00	0.74	0.70	0.04	0.00	0.52	0.58	0.61
CU2554	62.00	57.00	0.78	0.57	0.21	0.00	85.67	85.00	0.88	0.85	0.03	0.00	0.63	0.66	0.70
CU2555	61.00	57.00	0.72	0.57	0.12	0.02	87.00	87.00	0.87	0.87	0.00	0.00	0.67	0.70	0.72
MU2553	51.33	44.00	0.76	0.44	0.32	0.01	67.67	65.00	0.76	0.65	0.11	0.00	0.34	0.37	0.44
MU2554	51.00	43.00	0.73	0.43	0.29	0.01	79.33	78.00	0.84	0.78	0.05	0.00	0.58	0.62	0.66
MU2555	50.67	43.00	0.80	0.43	0.38	0.00	82.33	82.00	0.84	0.82	0.02	0.00	0.64	0.68	0.76

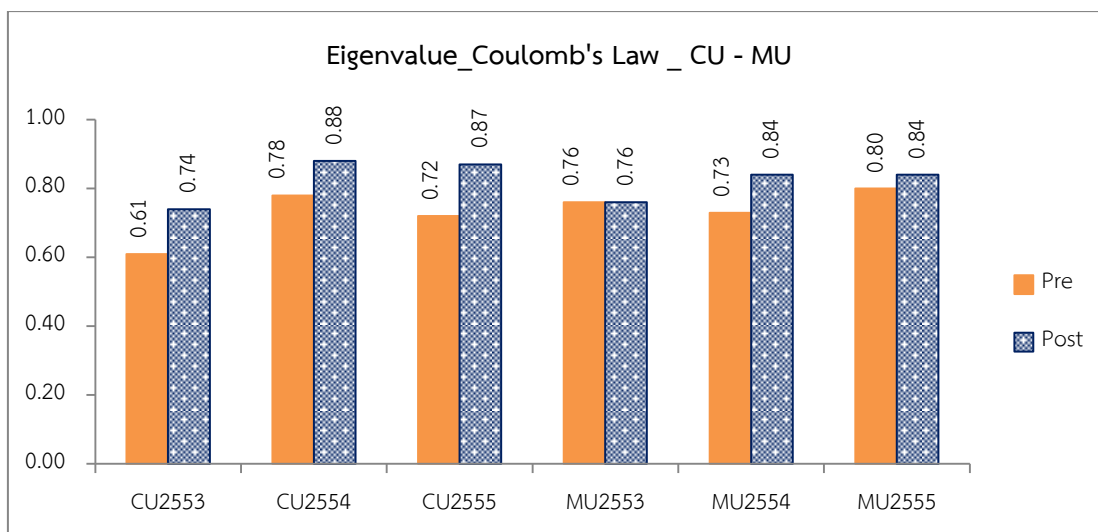
จากตาราง 4.1 สามารถแสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.1-4.4



รูป 4.1 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

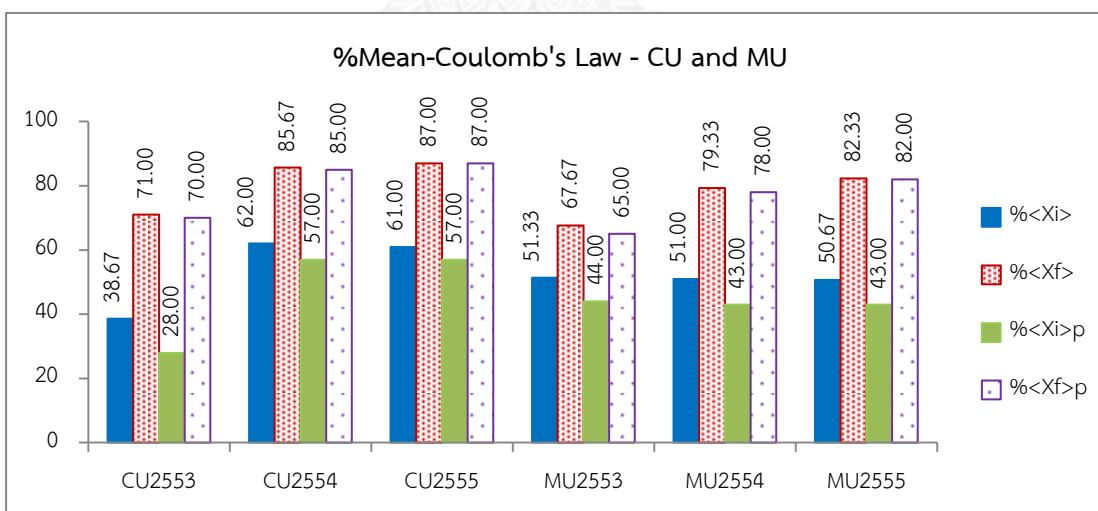
จากรูป 4.1 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิต CU2554 และ CU2555 อยู่ในบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมีพื้นฐานความรู้ถูกต้อง ในขณะที่ จุดโมเดลของกลุ่มอื่นๆ อยู่ในบริเวณผสม แสดงว่า มีความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท นอกจากนั้น จะเห็นว่าจุดโมเดลของนิสิต CU2553 อยู่ในบริเวณผสม และอยู่ห่างจากเส้นขอบเขตโมเดลบนมากกว่าจุดโมเดลอื่นๆ แสดงว่า มีความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท และมีค่าไอเกนน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ

หลังเรียน จุดโมเดลของผู้เรียนทั้ง 6 กลุ่มมีแนวโน้มเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า หลังการเรียนการสอน ผู้เรียนทุกกลุ่มมีความรู้เกี่ยวกับกฎคูลอมบ์มากขึ้น ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอเกน ดังรูป 4.2



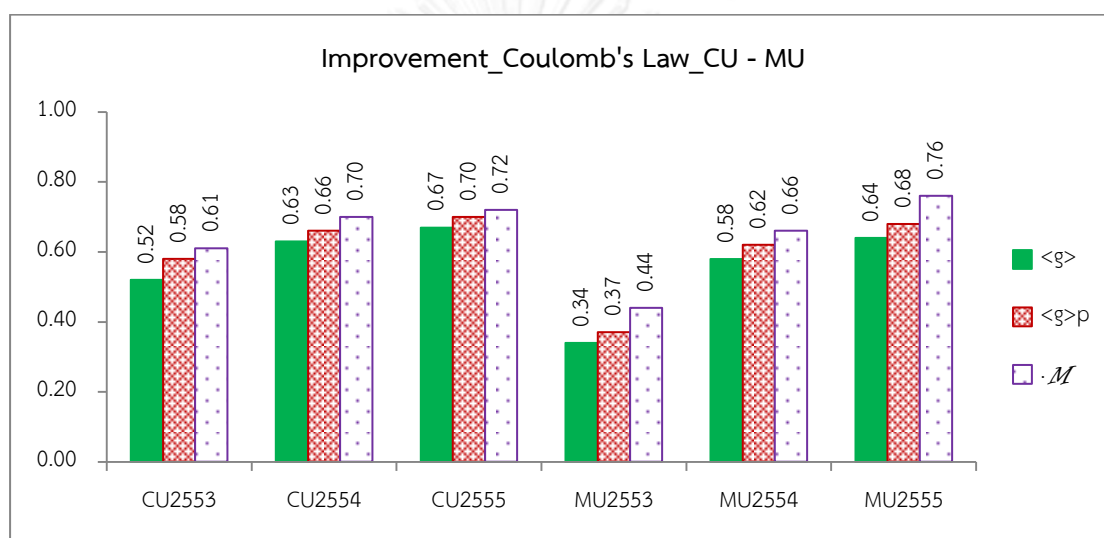
รูป 4.2 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.2 นิสิต CU2553 มีค่าไอเกนก่อนเรียนน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ แสดงว่า ผู้เรียนแต่ละคน มีพื้นฐานความรู้ค่อนข้างแตกต่างกัน ทั้งนี้ จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่มมีค่าไอเกนหลังเรียนเพิ่มขึ้นจาก ก่อนเรียน (ยกเว้น นักศึกษา MU2553 มีค่าไอเกนเท่าเดิม) แสดงว่า หลังเรียน ผู้เรียนมีความรู้ สอดคล้องไปในทางเดียวกันมากขึ้น นอกจากนี้ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์หาคะแนน ดังรูป 4.3



รูป 4.3 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อน และหลังเรียนของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.3 ก่อนเรียน จะเห็นว่า นิสิต CU2553 มี $\%(X_i)_p$ และ $\%(X_i)$ แตกต่างกันอย่างเด่นชัด โดย $\%(X_i)_p$ มีค่าน้อยกว่า $\%(X_i)$ แสดงว่า อาจจะมีนิสิตบางส่วน (ส่วนน้อย) ได้คะแนนสูงกว่าปกติเมื่อเทียบกับนิสิตส่วนใหญ่ (ดูคำอธิบายเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่าง $\langle X \rangle$ กับ $\langle X \rangle_p$ ได้จากหัวข้อ 3.2.1) นอกจากนั้น จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่มมี $\%(X_f)_p$ และ $\%(X_f)$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนอย่างชัดเจน แสดงว่า หลังการเรียนการสอน ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.4



รูป 4.4 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 6 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.4 เห็นได้ว่า นิสิต CU2555 และนักศึกษา MU2555 มีพัฒนาการสูงที่สุด เนื่องจากผู้เรียน 2 กลุ่มนี้มีค่า M ค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่หากเปรียบเทียบพัฒนาการของผู้เรียนระหว่างสถาบันในปีการศึกษาเดียวกัน จะเห็นว่า นิสิต CU2553 มีพัฒนาการในการเรียนรู้กฎคูลอมบ์สูงกว่านักศึกษา MU2553 อย่างชัดเจน ในขณะที่นิสิต CU2554 และนิสิต CU2555 มีพัฒนาการใกล้เคียงกับนักศึกษา MU2554 และนักศึกษา MU2555 ตามลำดับ

4.1.2 หัวข้อศักย์ไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในหัวข้อนี้ ประกอบด้วยผู้เรียน 2 กลุ่ม ได้แก่ นิสิต CU2554 และ นักศึกษา MU2554 โดยใช้ 2 คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 14-15 ซึ่งเนื้อหาของคำถามเกี่ยวกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยแต่ละคำถามให้หาความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยเส้นทางที่แตกต่างกัน (ภาคผนวก ข) โดยกำหนดโมเดล ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ สามารถหาความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) ระหว่าง 2 ตำแหน่ง ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (\vec{E}) ได้จากสมการ $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x}$ โดย $\Delta \vec{x}$ คือ การกระจัดระหว่าง 2 ตำแหน่ง สมการนี้แสดงให้เห็นว่า ศักย์ไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับเส้นทางระหว่าง 2 ตำแหน่ง นอกจากนี้ ต้องคำนึงถึงมุมระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัดด้วย

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวความคิดหลัก เช่น ศักย์ไฟฟ้าขึ้นกับเส้นทาง หรือการไม่คำนึงถึงเครื่องหมายลบ หรือการหาผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัด โดยไม่คำนึงถึงมุมระหว่างสนามไฟฟ้ากับการกระจัด เป็นต้น

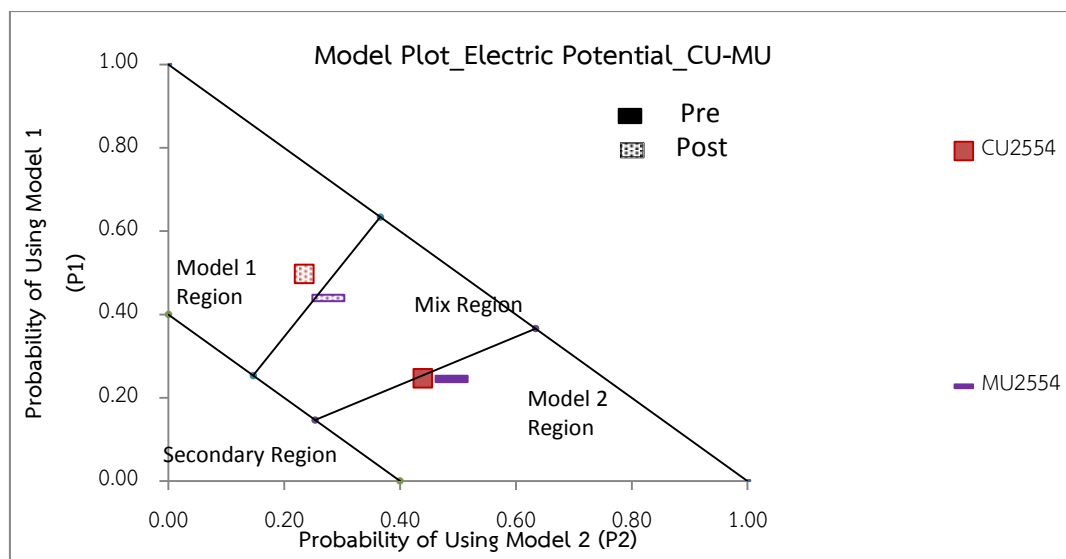
M_3 : แสดงกรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในหัวข้อ

แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
CU2554	39.66	24.67	0.69	0.25	0.44	0.01	57.47	49.76	0.73	0.50	0.23	0.00	0.30	0.33	0.37
MU2554	37.98	24.51	0.74	0.25	0.49	0.00	52.91	43.96	0.72	0.44	0.28	0.00	0.24	0.26	0.31

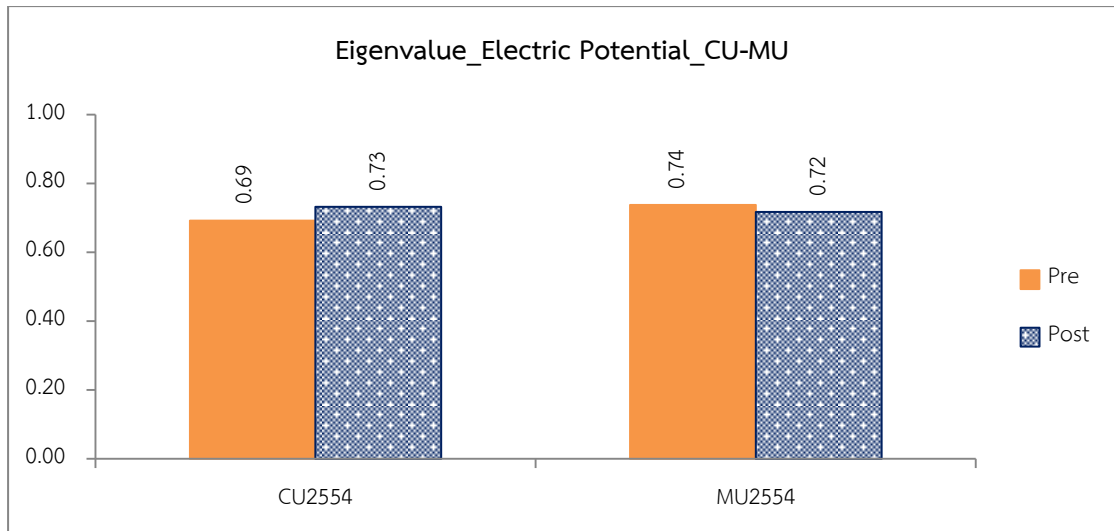
จากตาราง 4.2 สามารถแสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.5 - 4.8



รูป 4.5 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

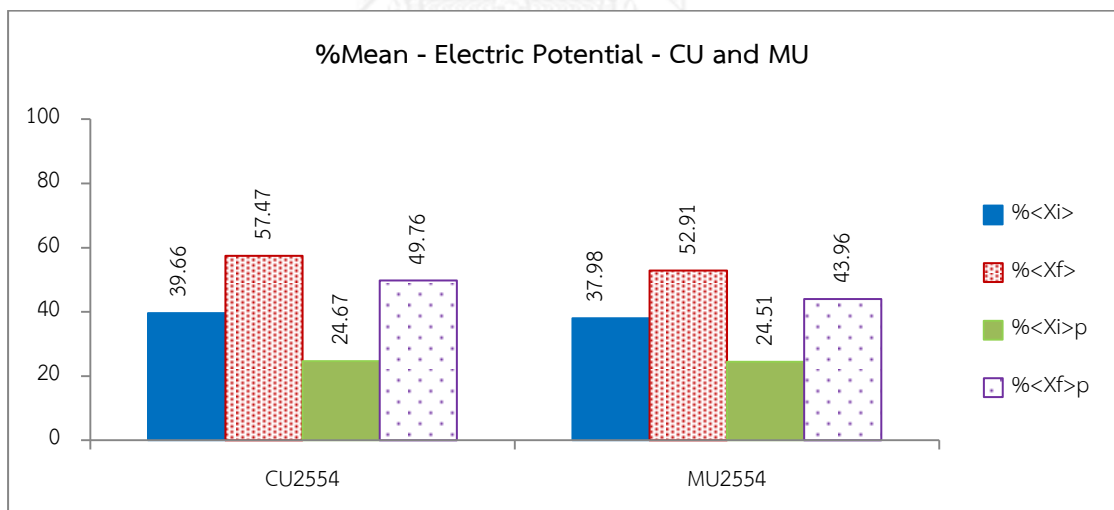
จากรูป 4.5 ก่อนเรียน จุดโมเดลของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม อยู่ใกล้กันตรงรอยต่อระหว่างบริเวณโมเดล 2 กับบริเวณผสม แสดงว่า นักศึกษา MU2554 และนิสิต CU2554 มีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน เป็นความรู้ผิดแนวคิดหลักและมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามบริบท

หลังเรียน จุดโมเดลของทั้ง 2 กลุ่ม มีแนวโน้มเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 โดยอยู่ใกล้กันตรงรอยต่อระหว่างบริเวณโมเดล 1 กับบริเวณผสม แสดงว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีความรู้ถูกต้องเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามบริบท ทั้งนี้ สามารถพิจารณาค่าไอเกิน ดังรูป 4.6



รูป 4.6 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

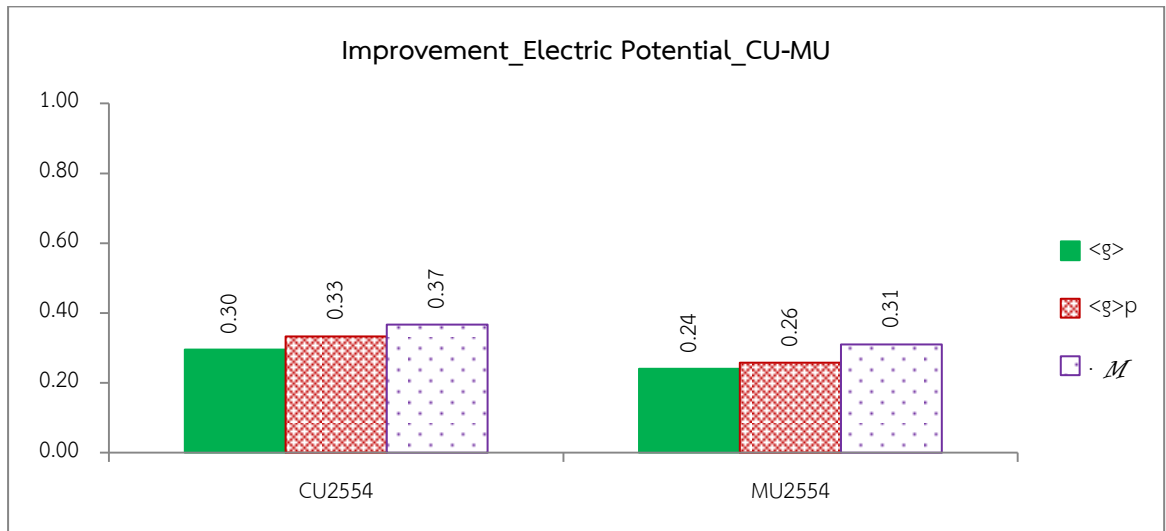
จากรูป 4.6 ค่าไอเกนของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าสถานะของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีการกระจายในลักษณะเดียวกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน นอกจากผลการวิเคราะห์โมเดลแล้ว สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.7



รูป 4.7 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.7 จะเห็นว่า ก่อนเรียน ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มี $\%<X_i>p$ น้อยกว่า $\%<X_i>$ อย่างเด่นชัด โดยอธิบายได้ในทำนองเดียวกับรูป 4.3 นอกจากนี้ จะเห็นว่า นิสิต CU2554 มี $\%<X_i>p$ และ $\%<X_f>$

ใกล้เคียงนักศึกษา MU2554 ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่ามีพื้นฐานความรู้ และพัฒนาการใกล้เคียงกัน โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม ดังรูป 4.8



รูป 4.8 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อศัคย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.8 จะเห็นได้ว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมีค่า M ค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ ใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้เรียนมีพัฒนาการในการเรียนรู้ศัคย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

4.1.3 หัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ในหัวข้อนี้ ประกอบด้วยผู้เรียน 3 กลุ่ม ได้แก่ นิสิต CU2554 นักศึกษา MU2553 และ นักศึกษา MU2554 โดยใช้คำถาม 2 คำถามจาก แบบทดสอบมาตรฐาน Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM) [20] ข้อ 1-2 ซึ่งถามว่า หากนำประจุจำนวนหนึ่งไปวางไว้ที่ผิวทรงกลมที่เป็นตัวนำและฉนวน เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 วินาที จะเกิดอะไรขึ้นกับทรงกลมทั้งสอง (ภาคผนวก ค) โดยกำหนดโมเดลของผู้เรียน ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ ถ้าวางประจุบนผิวตัวนำ ประจุจะกระจายอยู่บนผิวด้านนอกของตัวนำ แต่ถ้าวางประจุบนผิวฉนวน ประจุจะยังคงอยู่ในบริเวณที่มันถูกวางไว้

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลักในลักษณะต่างๆ เช่น ผู้เรียนเข้าใจว่า เมื่อวางประจุบนผิวตัวนำ ประจุจะกระจายไปทั่วเนื้อตัวนำ หรือเข้าใจว่า เมื่อวางประจุบนผิวฉนวน ประจุสามารถกระจายในฉนวนได้ในลักษณะเดียวกับกระจายของประจุในตัวนำ เป็นต้น

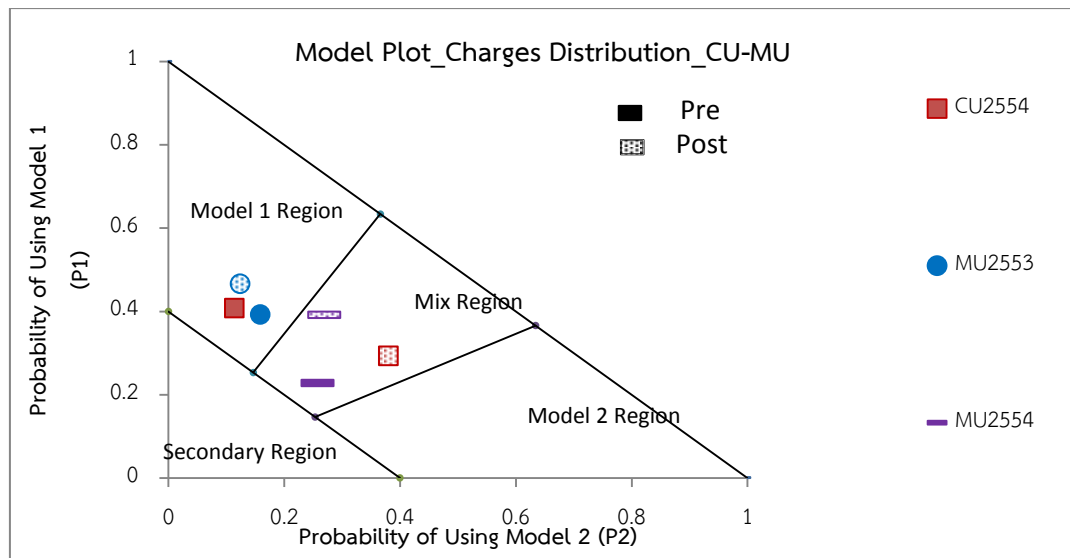
M_3 : คือกรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในหัวข้อ

แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\% \langle x \rangle$	$\% \langle x \rangle_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\% \langle x \rangle$	$\% \langle x \rangle_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	\mathcal{M}
CU2554	47.70	40.80	0.60	0.41	0.11	0.08	42.53	29.34	0.68	0.29	0.38	0.01	-0.10	-0.19	-0.27
MU2553	47.07	39.20	0.60	0.39	0.16	0.05	51.95	46.68	0.63	0.47	0.12	0.03	0.09	0.12	0.13
MU2554	37.40	22.78	0.57	0.23	0.26	0.08	49.61	39.19	0.67	0.39	0.27	0.00	0.20	0.21	0.19

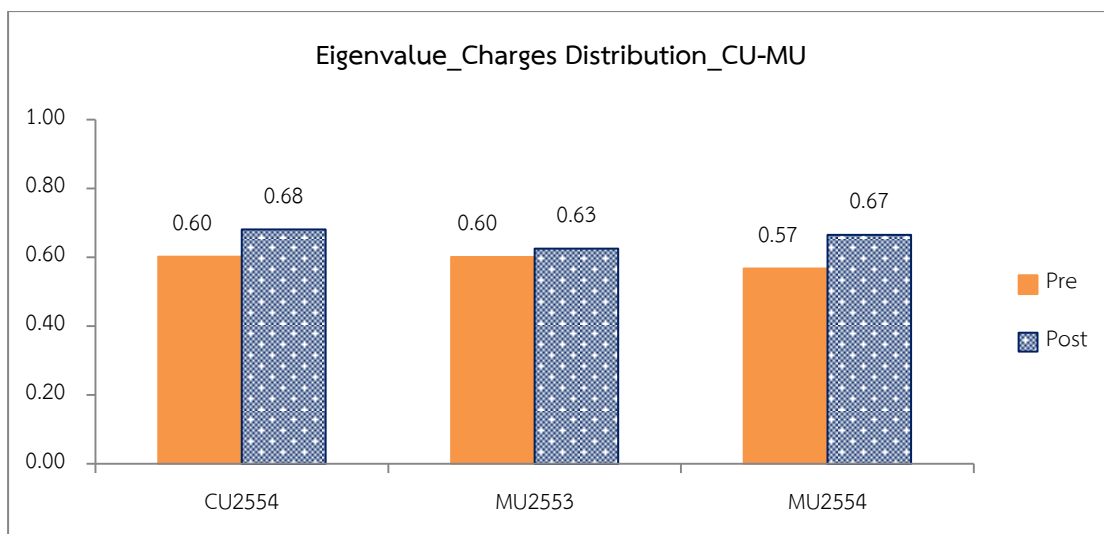
จากตาราง 4.3 สามารถแสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.9 - 4.12



รูป 4.9 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุนำและฉนวน

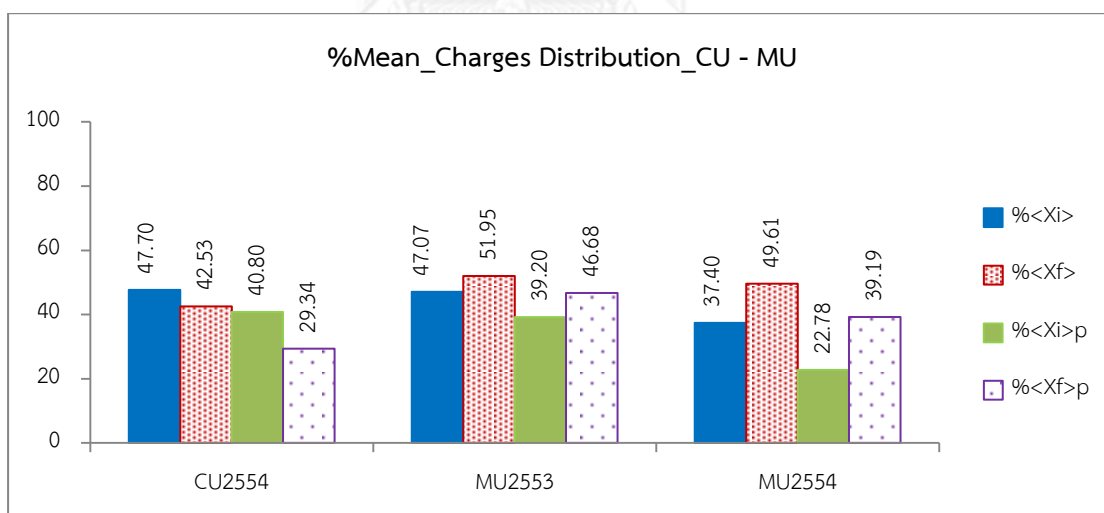
จากรูป 4.9 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิต CU2554 และนักศึกษา MU2553 อยู่ใกล้กันในบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า พื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน เป็นพื้นฐานความรู้ถูกต้อง ในขณะที่ จุดโมเดลของนักศึกษา MU2554 อยู่ในบริเวณผสม แสดงว่า มีพื้นฐานความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท โดยจุดโมเดลทั้ง 3 จุด อยู่ห่างจากเส้นขอบเขตโมเดลบนจนเกือบถึงบริเวณทุติยภูมิ แสดงว่า มีค่าไอเกนต่ำ

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต CU2554 เลื่อนมาอยู่บริเวณผสม และมี P_2 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับก่อนเรียน แสดงว่า มีความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท และมีความรู้ผิดแนวคิดหลักมากขึ้น ในขณะที่ จุดโมเดลของนักศึกษา MU2553 ยังคงอยู่ในบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า ยังคงมีความรู้ที่ถูกต้อง และจุดโมเดลของนักศึกษา MU2554 ยังคงอยู่ในบริเวณผสม แสดงว่า ยังคงมีความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท ทั้งนี้ จะเห็นว่า ผู้เรียนทั้ง 3 กลุ่ม มีระยะห่างจากเส้นขอบเขตโมเดลบนลดลงจากก่อนเรียน แสดงว่ามีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน โดยแสดงค่าไอเกน ดังรูป 4.10



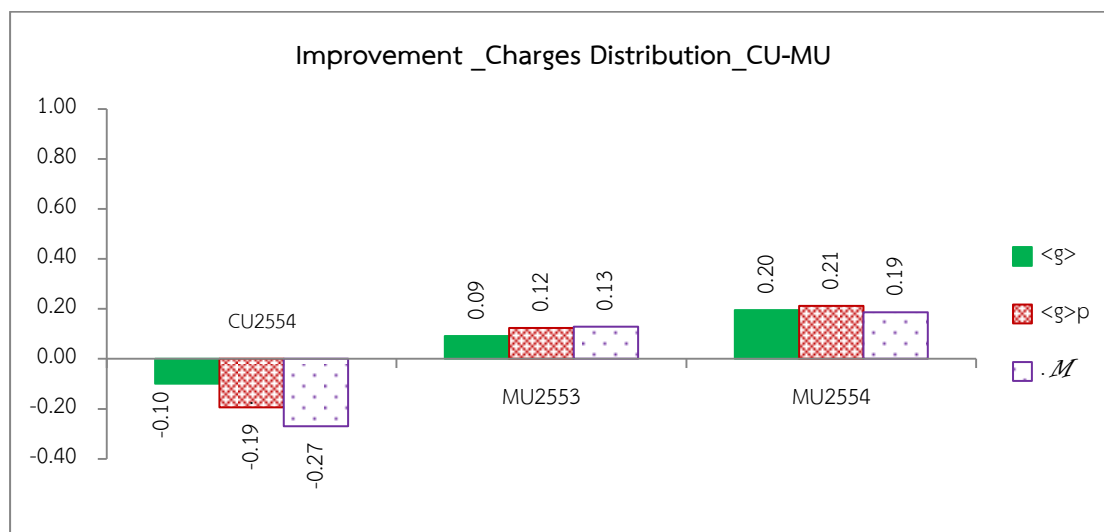
รูป 4.10 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.10 จะเห็นว่า ก่อนเรียน ผู้เรียนแต่ละกลุ่มมีค่าไอเกนน้อย แสดงว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ไม่สอดคล้องไปทางเดียวกัน หลังเรียน ผู้เรียนแต่ละกลุ่มมีค่าไอเกนเพิ่มขึ้น แสดงว่า มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้น ผลการวิเคราะห์คะแนนแสดงได้ดังรูป 4.11



รูป 4.11 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.11 นิสิต CU2554 มี $\%(X_f)_p$ และ $\%(X_f)$ ลดลงจากก่อนเรียนแสดงว่าผู้เรียนมีพัฒนาการลดลง ในขณะที่ นักศึกษา MU2553 และ MU2554 มี $\%(X_f)_p$ และ $\%(X_f)$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่าผู้เรียนมีพัฒนาการเพิ่มขึ้น โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.12



รูป 4.12 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 3 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.12 จะเห็นว่า นักศึกษา MU2554 มีพัฒนาการสูงที่สุด เนื่องจากมี M ค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ สูงที่สุด รองลงมาคือ นักศึกษา MU2553 ในขณะที่ นิสิต CU2554 มีพัฒนาการลดลง เห็นได้จากค่า M ค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ ติดลบ

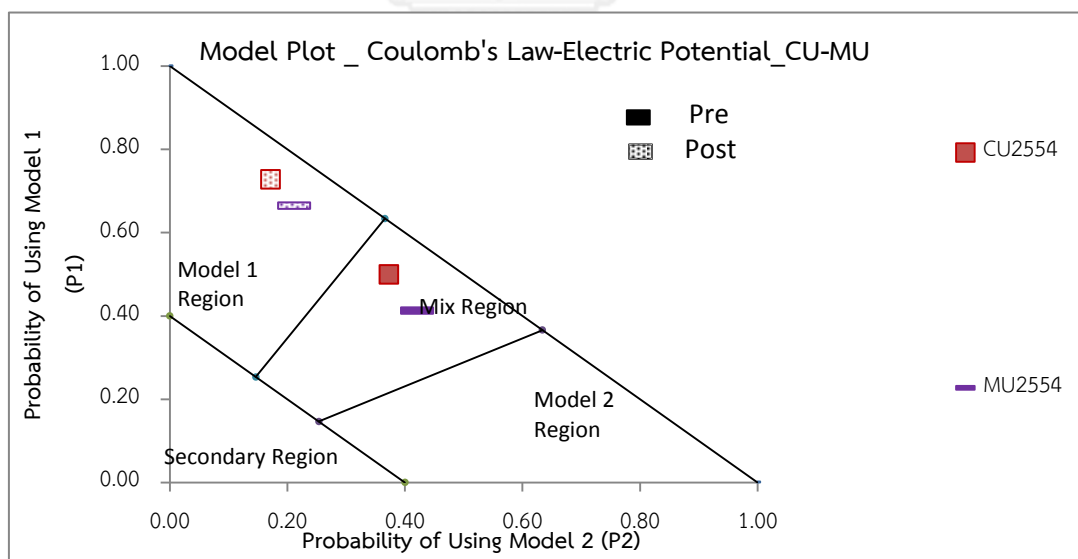
4.1.4 หัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการผู้เรียนในหัวข้อนี้ ครอบคลุมเนื้อหา 2 แนวคิดหลัก คือ แนวคิดหลักของกฎคูลอมบ์และแนวคิดหลักของศักย์ไฟฟ้า ใช้คำถามข้อ 1-3 และข้อ 13-14 จากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับเนื้อหาในคำถาม ดูได้จากหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 โดยกำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน ผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสอบเทคนก่อนเรียน						ข้อสอบเทคนหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
CU2554	53.10	49.94	0.88	0.50	0.37	0.01	74.48	72.81	0.90	0.73	0.17	0.00	0.46	0.46	0.49
MU2554	45.81	41.26	0.85	0.41	0.42	0.02	68.68	66.47	0.88	0.66	0.21	0.00	0.42	0.43	0.45

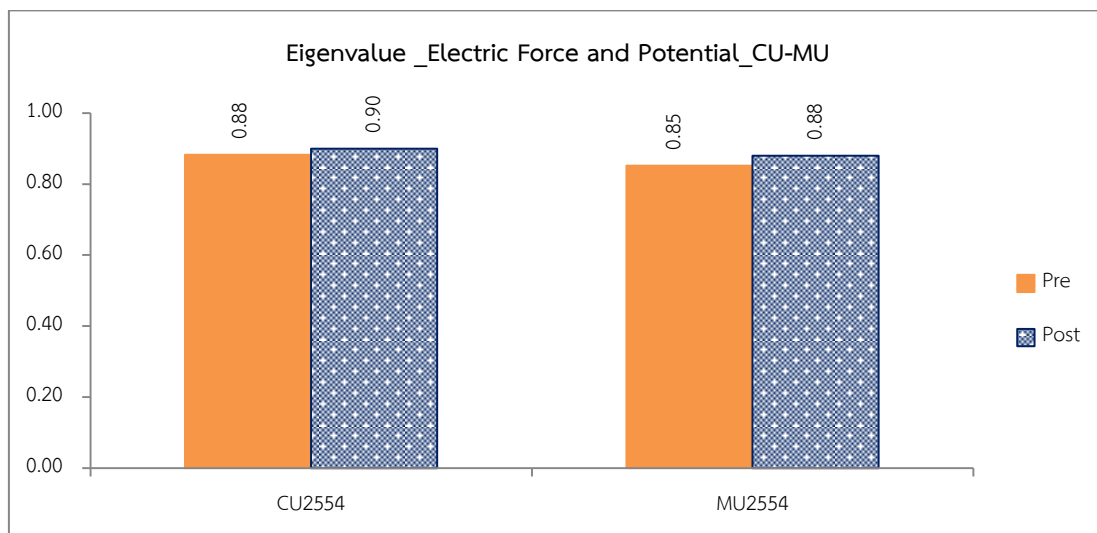
จากตาราง 4.4 สามารถแสดงข้อสอบเทคนด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.13 - 4.16



รูป 4.13 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

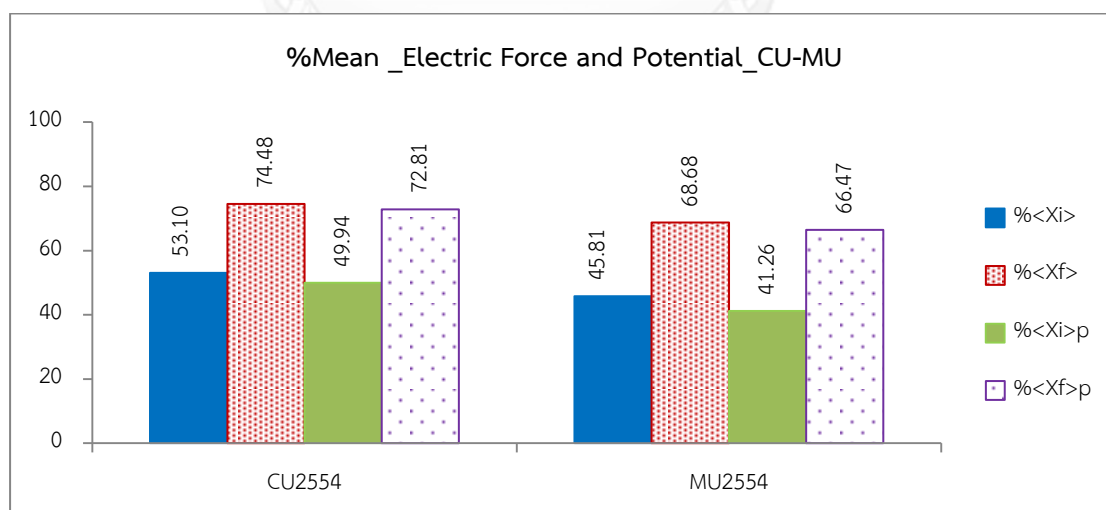
จากรูป 4.13 จุดโมเดลก่อนเรียนของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม อยู่ในบริเวณผสม ในขณะที่ จุดโมเดล หลังเรียนของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีแนวโน้มเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 แสดงว่าผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมี

ความรู้ที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน นอกจากนี้ จะเห็นว่า ทั้งจุดโมเดลก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มอยู่ใกล้กับเส้นขอบเขตบนมาก แสดงว่ามีค่าไอเกนสูง โดยแสดงค่าไอเกน ดังรูป 4.14



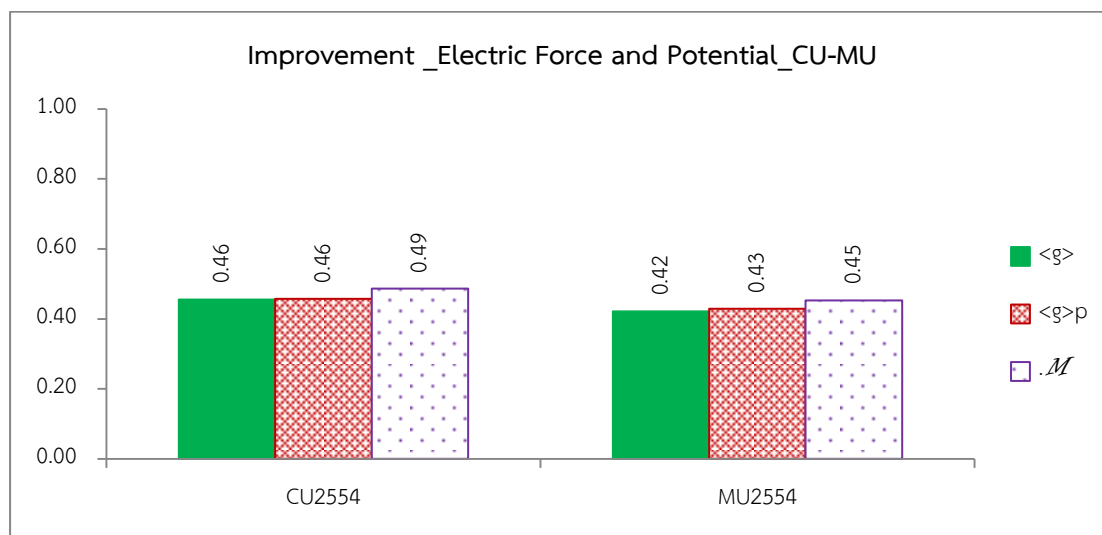
รูป 4.14 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.14 จะเห็นว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าไอเกนสูง ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าผู้เรียนมีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันทั้งก่อนและหลังเรียน นอกจากนี้ สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.15



รูป 4.15 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.15 จะเห็นว่า นิสิต CU2554 มี $\% \langle X \rangle_p$ และ $\% \langle X \rangle$ ใกล้เคียงกับนักศึกษา MU2554 ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีพื้นฐานความรู้ และพัฒนาการใกล้เคียงกัน โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.16



รูป 4.16 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์และศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.16 จะเห็นว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีค่า M ค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ ใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีพัฒนาการใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตาม ในหัวข้อนี้ เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน โดยรวมหัวข้อกฎคูลอมบ์และหัวข้อศักย์ไฟฟ้าไว้ด้วยกัน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ด้วยรูปแบบนี้ จะไม่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่เปลี่ยนแปลงตามบริบท เนื่องจาก แบบทดสอบไม่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มคำถามที่แสดงบริบทหลากหลายภายใต้ 1 แนวคิดหลัก (ดูหัวข้อ 3.1.1 และ 3.2.1)

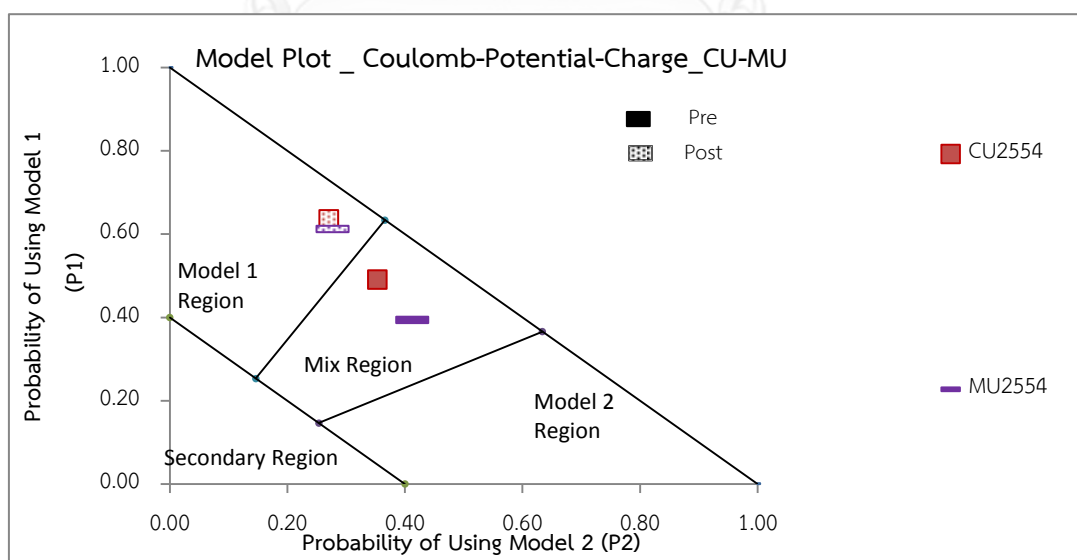
4.1.5 หัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

หัวข้อนี้ เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนครอบคลุมเนื้อหา 3 แนวคิดหลัก คือ แนวคิดหลักของกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน โดยใช้คำถามข้อ 1-3 และข้อ 13-14 จากแบบทดสอบ BEMA และคำถามข้อที่ 1-2 จากแบบทดสอบ CSEM โดยกำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา โดยสามารถแสดง ผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
CU2554	51.56	49.06	0.90	0.49	0.35	0.05	65.35	63.59	0.91	0.64	0.27	0.01	0.28	0.29	0.27
MU2554	43.41	39.36	0.88	0.39	0.41	0.07	63.23	61.27	0.90	0.61	0.28	0.01	0.35	0.36	0.35

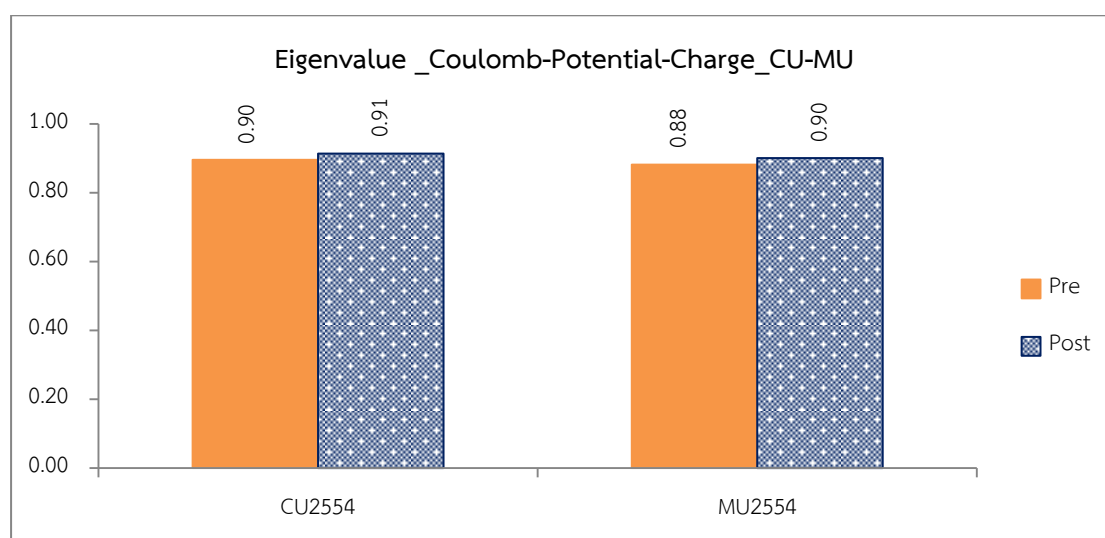
จากตาราง 4.5 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ได้ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.17 - 4.20



รูป 4.17 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของ 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดลในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

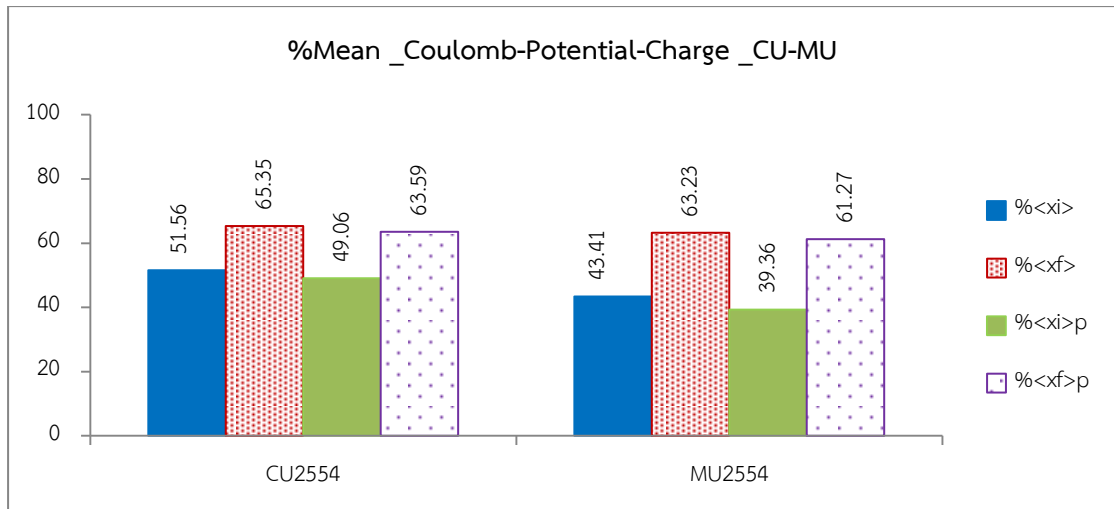
จากรูป 4.17 ก่อนเรียน จุดโมเดลของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม อยู่ใกล้เคียงกัน แสดงว่า มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน

หลังเรียน จุดโมเดลของผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม เลื่อนมาอยู่ใกล้กันในบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีสถานะใกล้เคียงกัน และมีความรู้ถูกต้องเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน ทั้งนี้ สามารถพิจารณาค่าไอเกน ดังรูป 4.18



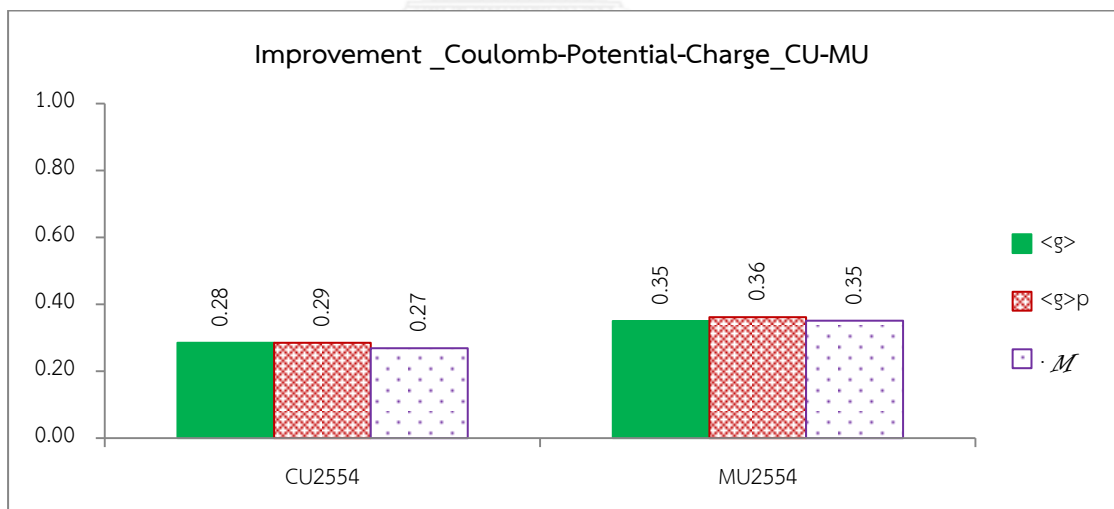
รูป 4.18 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของ 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.18 จะเห็นว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าไอเกนสูง ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่า ผู้เรียนมีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน นอกจากนั้น สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.19



รูป 4.19 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.19 จะเห็นว่า นิสิต CU2554 มี $\%(\bar{x})_p$ ใกล้เคียงกับนักศึกษา MU2554 ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมีพื้นฐานความรู้ และพัฒนาการใกล้เคียงกัน โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียนได้ดังรูป 4.20



รูป 4.20 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของผู้เรียน 2 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ในหัวข้อกฎคูลอมบ์ ศักย์ไฟฟ้า และการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

จากรูป 4.20 จะเห็นว่าผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีค่า M ใกล้เคียง แสดงว่า มีพัฒนาการใกล้เคียงกัน

จากผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และการหาค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน
ตั้งหัวข้อ 4.1.1 – 4.1.5 ได้ข้อสรุปว่า นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล
มีความรู้พื้นฐานและพัฒนาการใกล้เคียงกัน (ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ) บ่งบอกว่า วิธีการเรียนการ
สอนที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนในกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนั้น จาก
หัวข้อ 4.1.4 -4.1.5 จะเห็นว่า การนำการวิเคราะห์โมเดลมาประยุกต์ใช้กับกรณีที่แบบทดสอบไม่ได้มี
ลักษณะเป็นกลุ่มคำถาม จะทำให้สูญเสียข้อสนเทศเกี่ยวกับความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท แต่ยังคง
สามารถใช้การวิเคราะห์โมเดลเพื่อแยกประเภทของความรู้ผู้เรียนเป็นประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ความรู้
ถูกต้อง (M_1) ความรู้ผิดแนวคิดหลัก (M_2) และความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา (M_3)

4.2 สรุปและอภิปรายผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ

ในหัวข้อนี้ เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตชั้นปีที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 5 กลุ่ม จาก 3 คณะ ได้แก่ นิสิตคณะวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2550 จำนวน 111 คน (2550Sci) คณะวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ ปีการศึกษา 2551 จำนวน 71 คน (2551Ice) คณะวิทยาศาสตร์ ตอนเรียน 3 ปีการศึกษา 2552 จำนวน 29 คน (2552Sci3) คณะวิทยาศาสตร์ ตอนเรียน 2 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 77 คน (2555Sci2) และคณะครุศาสตร์ (กลุ่มของนิสิตครุศาสตร์มีนิสิตคณะสหเวชศาสตร์รวมอยู่ด้วย) ปีการศึกษา 2555 จำนวน 52 คน (2555Edu) โดยพิจารณาใน 8 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก (4.2.1) หัวข้อไฟฟ้า (4.2.2) หัวข้อแม่เหล็ก (4.2.3) หัวข้อกฎคูลอมบ์ (4.2.4) หัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า (4.2.5) หัวข้อศักย์ไฟฟ้า (4.2.6) หัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก (4.2.7) และหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ (4.2.8) โดยหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 มีขอบเขตของเนื้อหาครอบคลุมมากกว่า 1 แนวคิดหลัก ในขณะที่หัวข้อ 4.2.4 – 4.2.8 มีเนื้อหาครอบคลุมเพียง 1 แนวคิดหลักเท่านั้น

วิธีการสอนที่ใช้กับนิสิตแต่ละกลุ่ม คือ สอนแบบบรรยายและให้การบ้าน ทั้งนี้ จะเห็นว่าในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนนิสิตค่อนข้างน้อย เนื่องจาก เราเลือกเฉพาะนิสิตที่ได้ทำแบบทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน

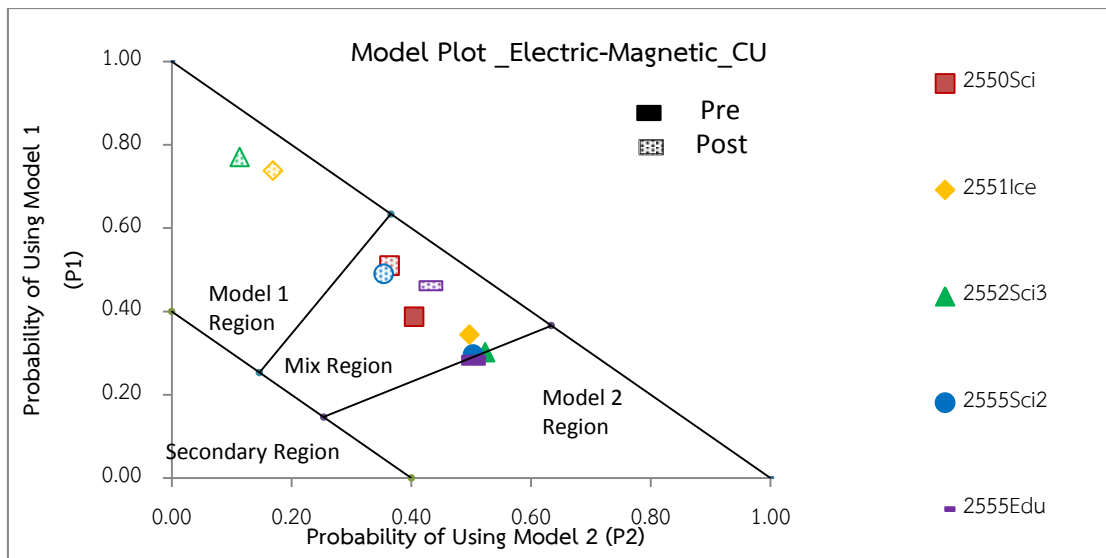
4.2.1 หัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก มีเนื้อหาครอบคลุม 5 แนวคิดหลัก ได้แก่แนวคิดหลักของหัวข้อกฎคูลอมบ์ หัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า หัวข้อศักย์ไฟฟ้า หัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก และหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ ใช้คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA จำนวน 13 คำถาม ดังแสดงในภาคผนวก ก – ข และ ภาคผนวก ง – ฉ โดยกำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	41.79	38.67	0.91	0.39	0.40	0.12	53.22	50.99	0.92	0.51	0.36	0.04	0.20	0.20	0.17
2551lce	37.05	34.38	0.92	0.34	0.50	0.07	75.08	73.83	0.92	0.74	0.17	0.01	0.60	0.60	0.62
2552Sci3	32.89	30.18	0.92	0.30	0.52	0.10	78.25	77.12	0.90	0.77	0.11	0.01	0.68	0.67	0.71
2555Sci2	32.67	29.61	0.92	0.30	0.50	0.12	51.95	49.07	0.90	0.49	0.35	0.06	0.29	0.28	0.28
2555Edu	30.92	28.26	0.91	0.28	0.49	0.15	48.37	46.18	0.93	0.46	0.41	0.05	0.25	0.25	0.22

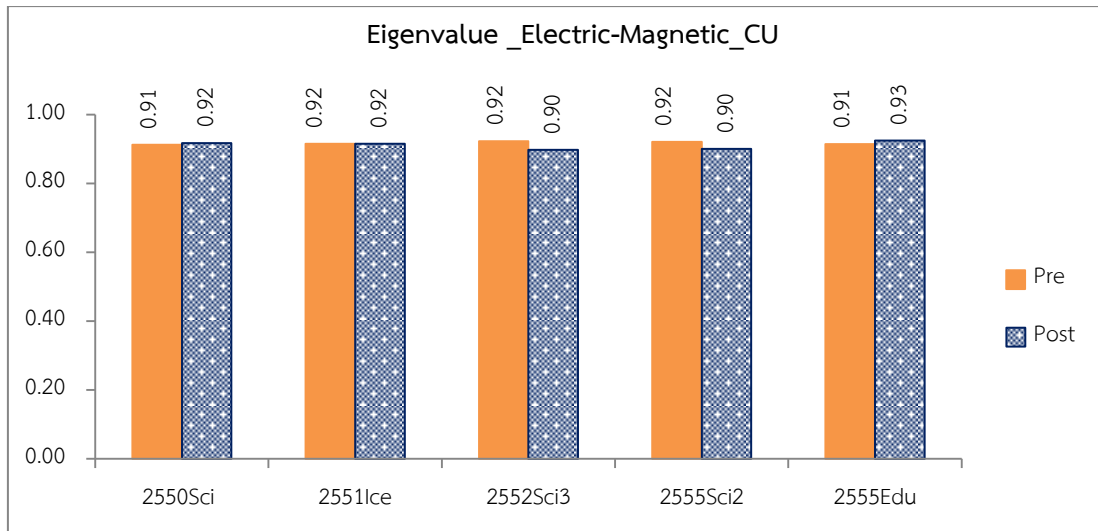
จากตาราง 4.6 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.21 - 4.24



รูป 4.21 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

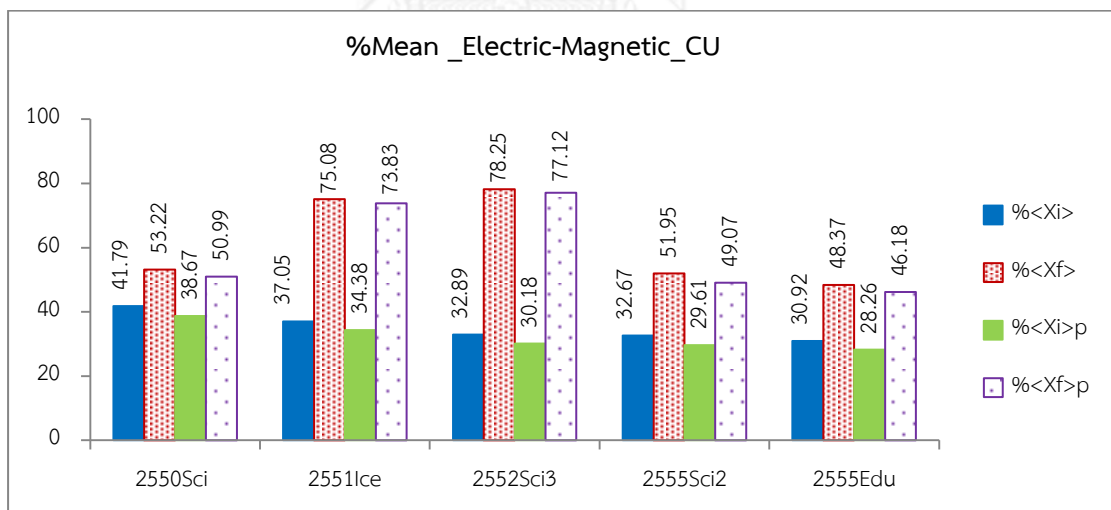
จากรูป 4.21 เห็นได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มยกเว้นนิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดโมเดลก่อนเรียนกระจุกตัวอยู่ด้วยกัน ในขณะที่นิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ต่างออกไป กล่าวคือ มีพื้นฐานความรู้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากจุดโมเดลก่อนเรียนของนิสิตกลุ่มดังกล่าว อยู่ใกล้กับบริเวณโมเดล 1 มากกว่ากลุ่มอื่นๆ

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2551Ice และนิสิต 2552Sci3 อยู่ใกล้กันในบริเวณโมเดล 1 ในขณะที่ จุดโมเดลของกลุ่มอื่นๆ อยู่ใกล้กันในบริเวณผสม แสดงว่านิสิต 2 กลุ่มนี้ มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอแกน ดังรูป 4.22



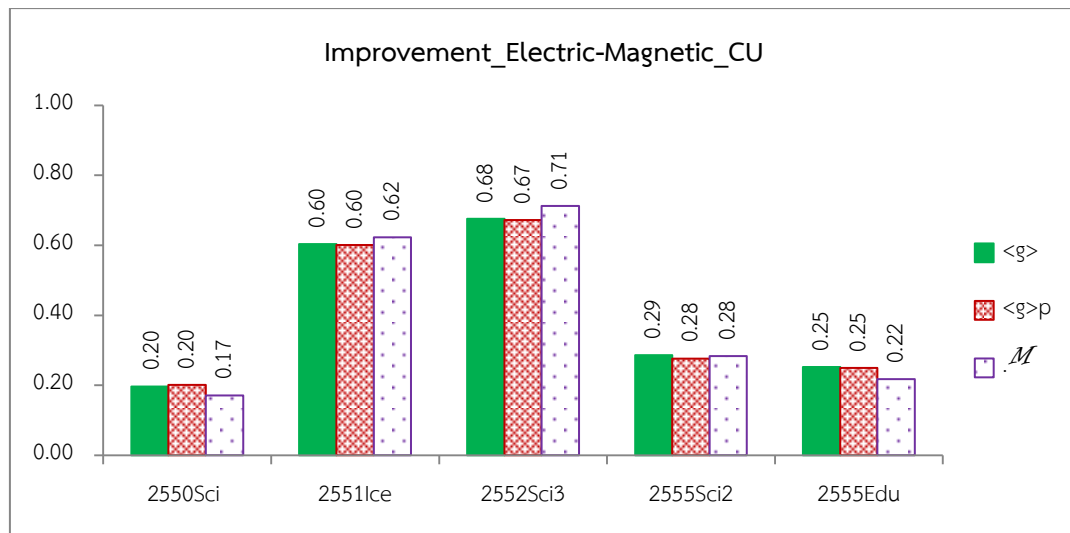
รูป 4.22 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

จากรูป 4.22 ค่าไอเกนของนิสิตทั้ง 5 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าสถานะของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มีการกระจายในลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.23



รูป 4.23 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

จากรูป 4.23 ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%$X_f$_p และ $\%$X_f$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิสิต 2551lce และ นิสิต 2552Sci3 มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.24$$



รูป 4.24 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และ พัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้าและแม่เหล็ก

จากรูป 4.24 นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างเด่นชัด แสดงว่า นิสิต 2 กลุ่มดังกล่าว มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

ที่กล่าวไปแล้วนั้น เป็นเพียงการอภิปรายโดยภาพรวมเท่านั้น ในหัวข้อถัดไป เราจะวิเคราะห์ในรายละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเนื้อหาไฟฟ้าในหัวข้อ 4.2.2 และส่วนของเนื้อหาแม่เหล็กในหัวข้อ 4.2.3

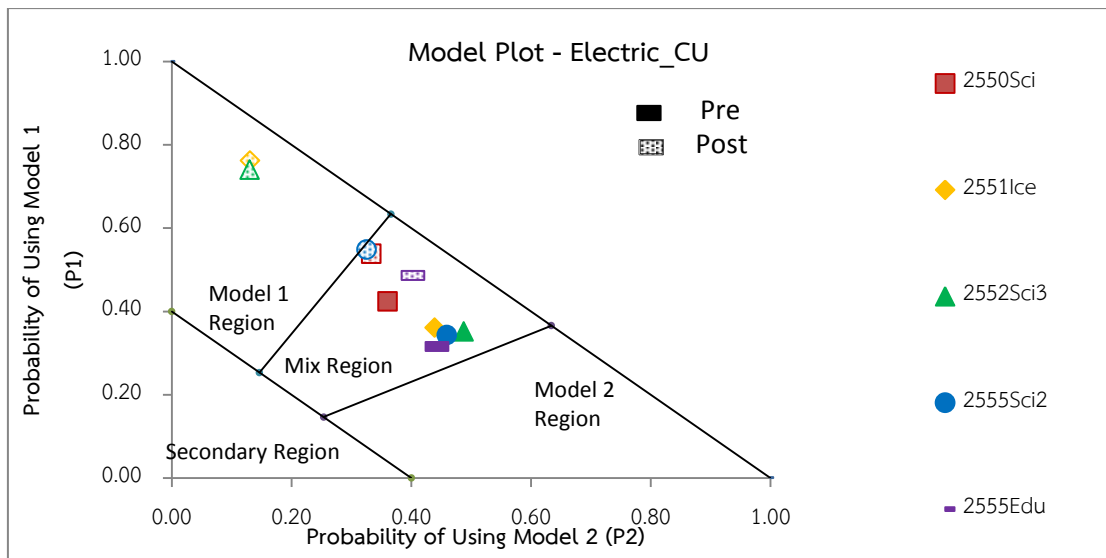
4.2.2 หัวข้อไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในหัวข้อไฟฟ้า มีเนื้อหาครอบคลุม 3 แนวคิดหลัก ได้แก่แนวคิดหลักของหัวข้อกฎคูลอมบ์ หัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า หัวข้อศักย์ไฟฟ้า โดยใช้คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA จำนวน 9 คำถาม ดังแสดงในภาคผนวก ก ภาคผนวก ข และภาคผนวก ง โดยกำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	46.15	42.43	0.87	0.42	0.36	0.09	56.36	53.89	0.90	0.54	0.33	0.03	0.19	0.20	0.16
2551lce	40.22	36.08	0.87	0.36	0.44	0.07	77.46	76.23	0.90	0.76	0.13	0.00	0.62	0.63	0.65
2552Sci3	37.93	35.13	0.91	0.35	0.49	0.07	75.48	74.08	0.88	0.74	0.13	0.01	0.60	0.60	0.65
2555Sci2	38.24	34.32	0.88	0.34	0.46	0.08	57.43	54.88	0.89	0.55	0.33	0.01	0.31	0.31	0.31
2555Edu	34.83	31.53	0.88	0.32	0.42	0.14	51.28	48.65	0.90	0.49	0.38	0.03	0.25	0.25	0.21

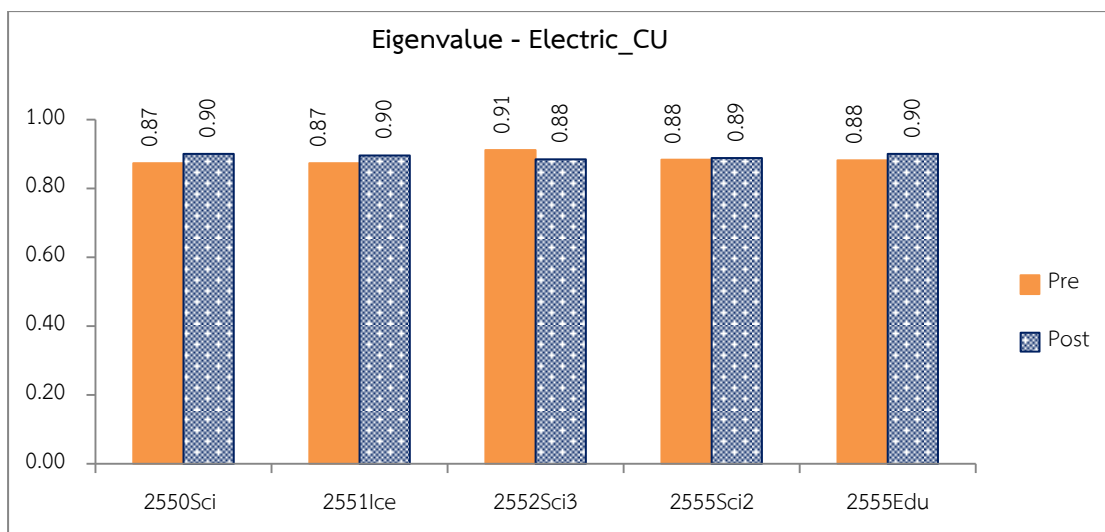
จากตาราง 4.7 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรมได้ดังรูป 4.25 - 4.28



รูป 4.25 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในหัวข้อไฟฟ้า

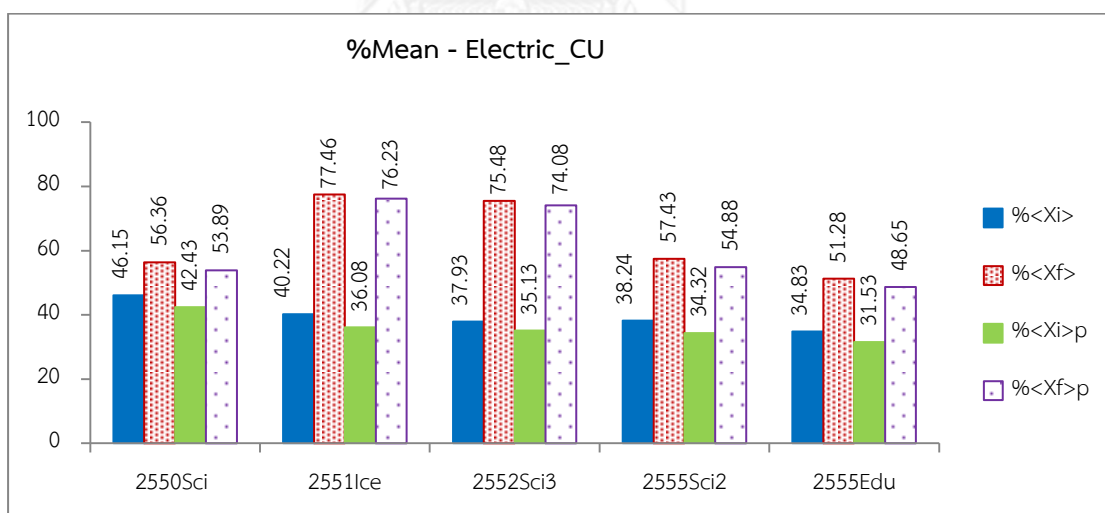
จากรูป 4.25 ก่อนเรียน เห็นได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มยกเว้นนิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดโมเดลกระจุกตัวอยู่ด้วยกัน ในขณะที่นิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ต่างออกไป กล่าวคือ มีพื้นฐานความรู้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากจุดโมเดลของนิสิตกลุ่มดังกล่าว อยู่ใกล้กับบริเวณโมเดล 1 มากกว่ากลุ่มอื่นๆ

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2551Ice และ นิสิต 2552Sci3 เลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 ในขณะที่ จุดโมเดลของกลุ่มอื่นๆ อยู่ใกล้กันในบริเวณผสม แสดงว่านิสิต 2 กลุ่มนี้ มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอแกน ดังรูป 4.26



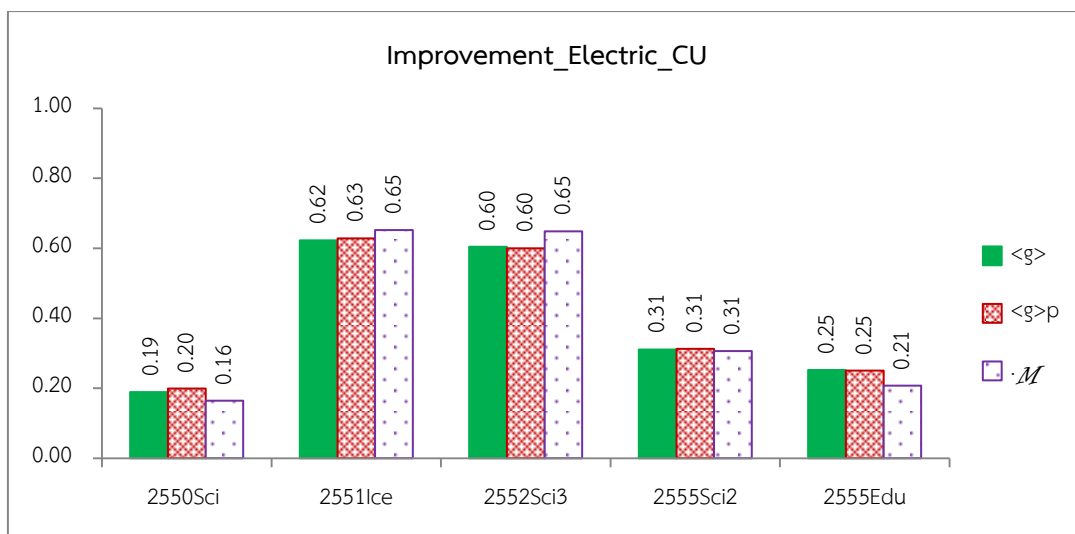
รูป 4.26 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า

จากรูป 4.26 ค่าไอเกนของนิสิตทั้ง 5 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าสถานะของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มีการกระจายในลักษณะเดียวกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน ทั้งนี้ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.27



รูป 4.27 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า

จากรูป 4.27 ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>_p$ และ $\%<X_f>$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้เพิ่มขึ้น โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.28



รูป 4.28 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อไฟฟ้า

จากรูป 4.28 นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีค่า M รวมทั้งค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างเด่นชัด แสดงว่านิสิต 2 กลุ่มนี้ มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

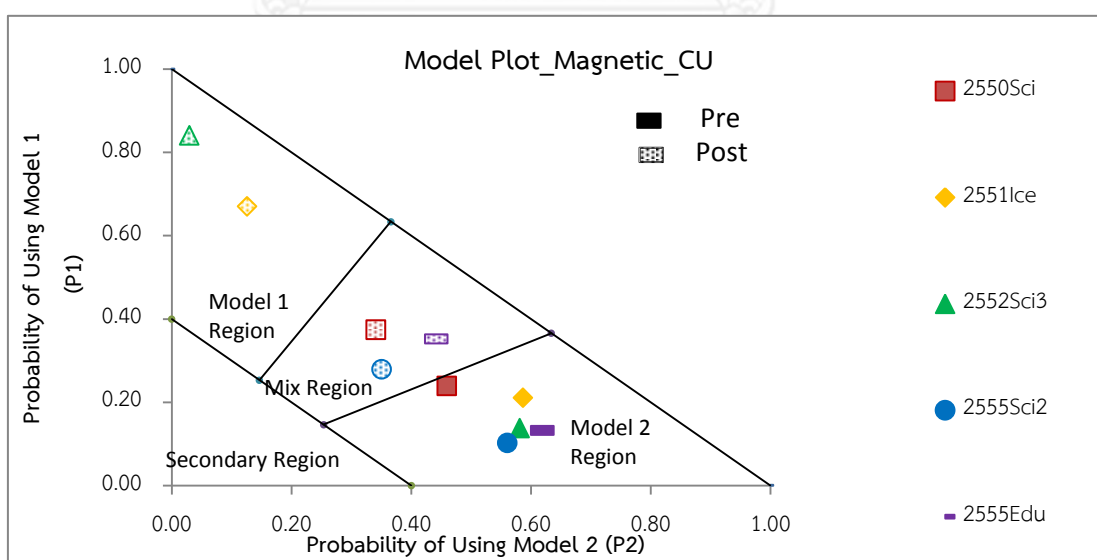
4.2.3 หัวข้อแม่เหล็ก

ในการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในหัวข้อแม่เหล็ก มีเนื้อหาครอบคลุม 2 แนวคิดหลัก ได้แก่แนวคิดหลักของหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก และหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ ใช้คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA จำนวน 4 คำถาม แสดงในภาคผนวก จ และภาคผนวก ฉ โดยกำหนดให้โมเดล M_1 แสดงความรู้ที่ถูกต้อง M_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก และ M_3 แสดงความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการ ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	31.98	23.97	0.79	0.24	0.46	0.09	46.17	37.46	0.74	0.37	0.34	0.03	0.21	0.18	0.20
2551lce	29.93	21.10	0.82	0.21	0.59	0.02	69.72	67.09	0.80	0.67	0.13	0.00	0.57	0.58	0.66
2552Sci3	21.55	13.80	0.81	0.14	0.58	0.09	84.48	84.15	0.87	0.84	0.03	0.00	0.80	0.82	0.86
2555Sci2	20.13	10.25	0.79	0.10	0.56	0.13	39.61	27.94	0.71	0.28	0.35	0.08	0.24	0.20	0.25
2555Edu	22.12	13.29	0.81	0.13	0.60	0.07	41.83	35.27	0.81	0.35	0.42	0.03	0.25	0.25	0.27

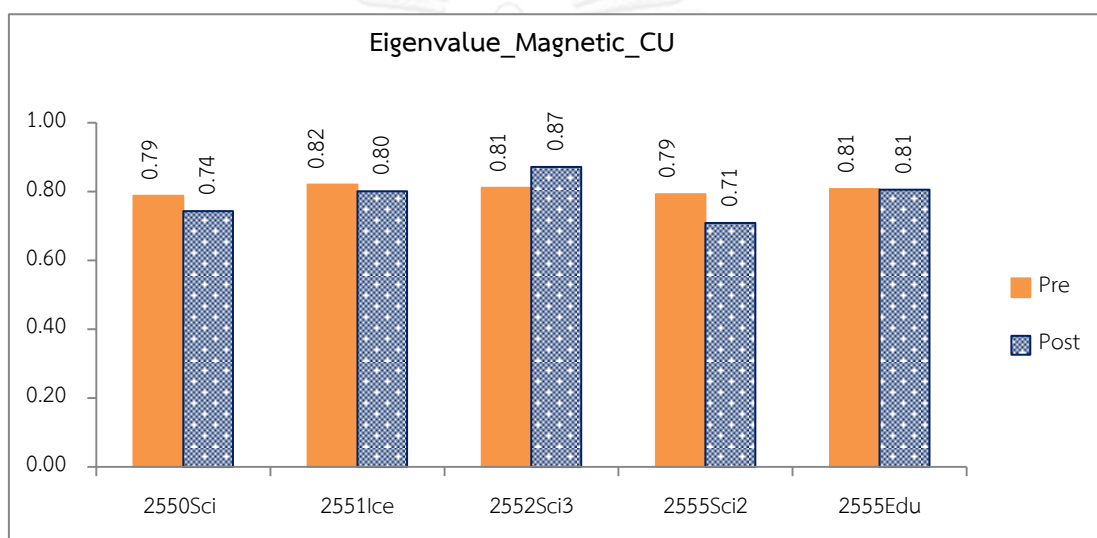
จากตาราง 4.8 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.29 - 4.32



รูป 4.29 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก

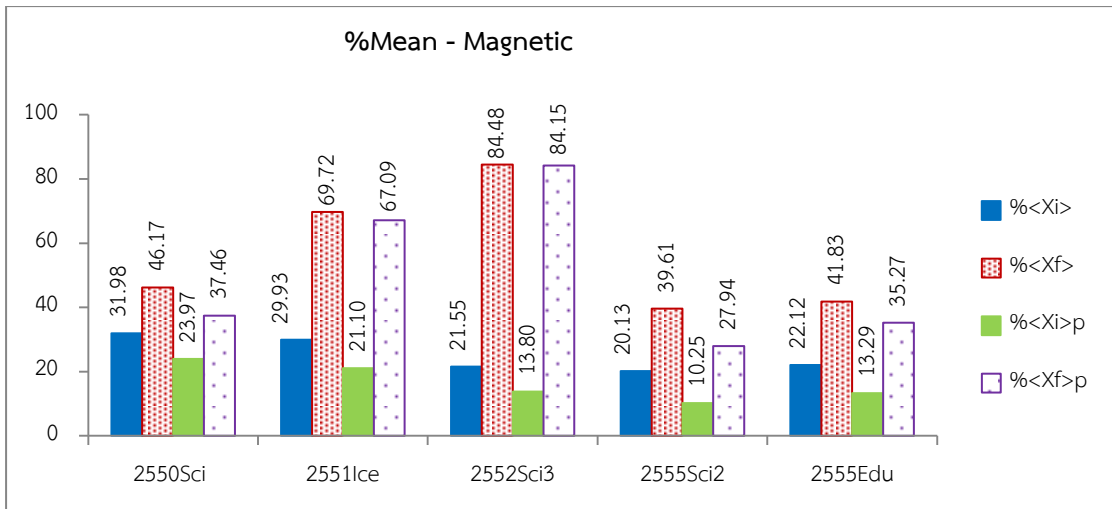
จากรูป 4.29 ก่อนเรียน เห็นได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มยกเว้นนิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดโมเดลกระจุกตัวอยู่ด้วยกัน ในขณะที่นิสิต 2550Sci มีพื้นฐานความรู้ต่างออกไป กล่าวคือ มีพื้นฐานความรู้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจาก จุดโมเดลของนิสิตกลุ่มดังกล่าว อยู่ใกล้กับบริเวณโมเดล 1 มากกว่ากลุ่มอื่นๆ

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2551Ice และนิสิต 2552Sci3 เลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 ในขณะที่ จุดโมเดลของกลุ่มอื่นๆ อยู่ใกล้กันในบริเวณผสม แสดงว่านิสิต 2 กลุ่มดังกล่าว มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอเกน ดังรูป 4.30



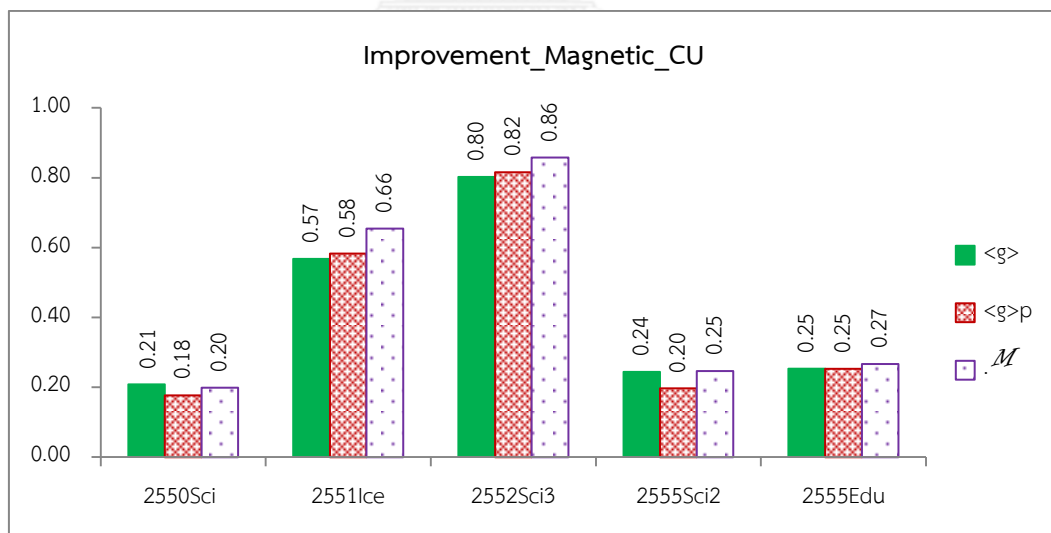
รูป 4.30 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก

จากรูป 4.30 ค่าไอเกนของนิสิตทั้ง 5 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน แสดงว่าสถานะของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มีการกระจายในลักษณะเดียวกัน ทั้งก่อนและหลังเรียน ทั้งนี้ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.31



รูป 4.31 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก

จากรูป 4.31 จะเห็นว่า ผู้เรียนทุกกลุ่มมี $\% \langle X_i \rangle_p$ น้อยกว่า $\% \langle X_i \rangle$ โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับรูป 4.3 นอกจากนั้น จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\% \langle X_f \rangle_p$ และ $\% \langle X_f \rangle$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิสิต 2551lce และ นิสิต 2552Sci3 มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.32



รูป 4.32 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแม่เหล็ก

จากรูป 4.32 นิสิต 2551lce และ 2552Sci3 มีค่า M รวมทั้งค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างเด่นชัด แสดงว่านิสิต 2 กลุ่มนี้ มีพัฒนาการสูงมากกว่ากลุ่มอื่นๆ

จากหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 หากเปรียบเทียบจุดโมเดลทั้งก่อนและหลังเรียน ระหว่างรูป 4.21 (รวมทุกเนื้อหา) กับรูป 4.25 (เนื้อหาไฟฟ้า) และรูป 4.29 (เนื้อหาแม่เหล็ก) จะเห็นว่า จุดโมเดลส่วนใหญ่ในรูป 4.25 อยู่ใกล้กับบริเวณโมเดล 1 มากกว่าจุดโมเดลส่วนใหญ่ในรูป 4.21 ในขณะที่ จุดโมเดลส่วนใหญ่ในรูป 4.29 อยู่ใกล้กับบริเวณโมเดล 2 มากกว่าจุดโมเดลส่วนใหญ่ในรูป 4.21 บ่งบอกว่านิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้ (ทั้งก่อนและหลังเรียน) เกี่ยวกับไฟฟ้าดีกว่าแม่เหล็ก อย่างไรก็ตาม ในหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตรวมกันมากกว่า 1 แนวคิดหลัก ซึ่งอาจจะไม่สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของนิสิตได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้น ในหัวข้อถัดไป จะแยกวิเคราะห์ในแต่ละหัวข้อที่ครอบคลุมเพียง 1 แนวคิดหลักเท่านั้น

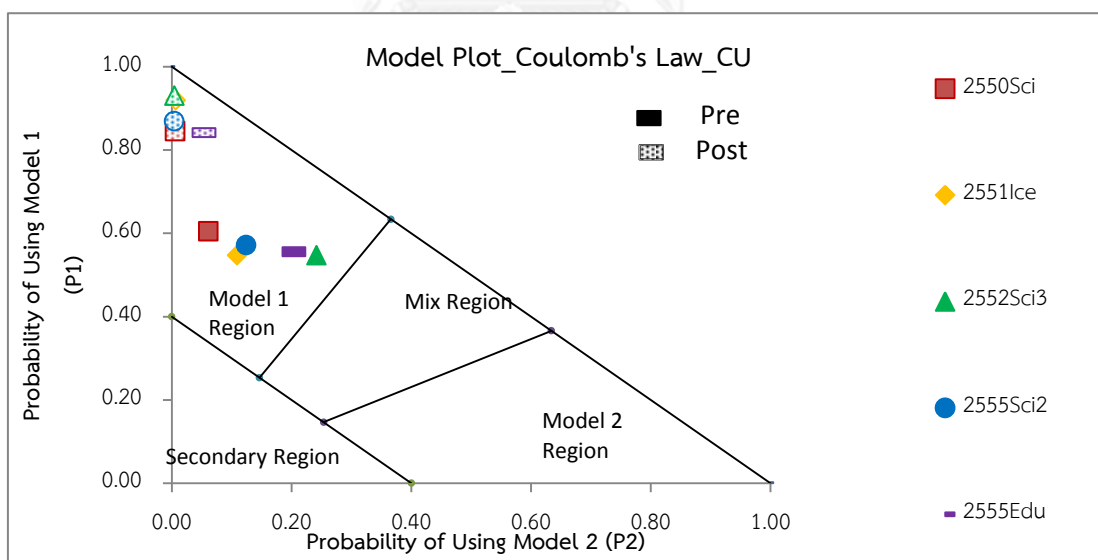
4.2.4 หัวข้อกฎคูลอมบ์

รายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาของหัวข้อกฎคูลอมบ์ รวมทั้งการกำหนดโมเดล และการกำหนดตัวเลือกให้สอดคล้องกับโมเดล สามารถพิจารณาได้จากหัวข้อ 4.1.1 โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	63.06	60.44	0.70	0.60	0.06	0.03	84.68	84.56	0.86	0.85	0.01	0.00	0.59	0.61	0.62
2551lce	58.69	54.67	0.70	0.55	0.11	0.05	92.02	91.98	0.93	0.92	0.01	0.00	0.81	0.82	0.83
2552Sci3	59.77	54.71	0.79	0.55	0.24	0.00	93.10	93.08	0.94	0.93	0.00	0.00	0.83	0.85	0.88
2555Sci2	61.04	57.15	0.72	0.57	0.12	0.02	87.01	86.97	0.87	0.87	0.00	0.00	0.67	0.70	0.72
2555Edu	60.26	55.52	0.75	0.56	0.19	0.01	84.62	84.20	0.88	0.84	0.04	0.00	0.61	0.64	0.67

จากตาราง 4.9 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.33 - 4.36

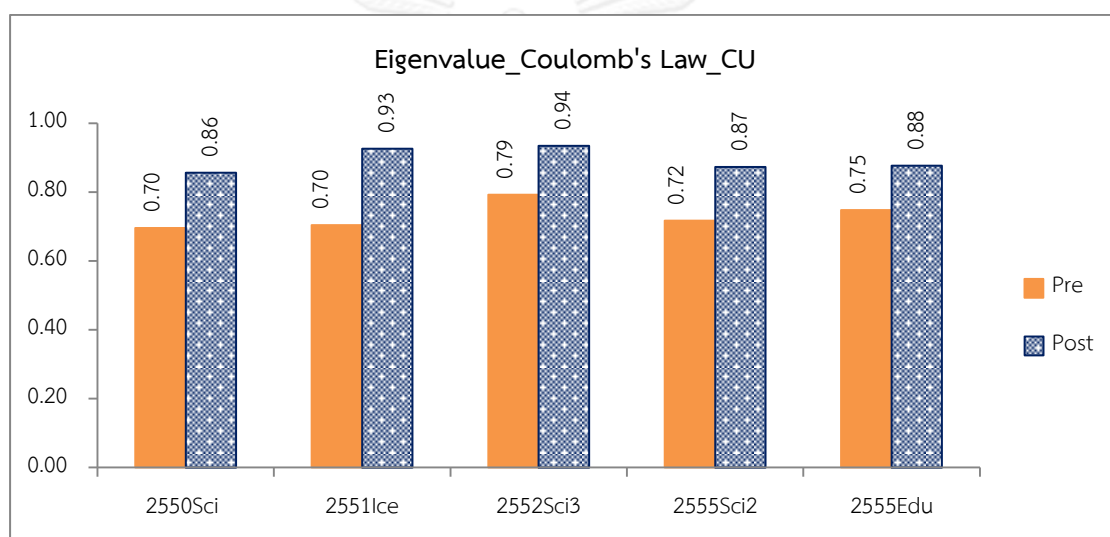


รูป 4.33 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.33 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิตทุกกลุ่มอยู่ในบริเวณโมเดล 1 แสดงว่านิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับกฎคูลอมบ์ ทั้งนี้ หากพิจารณาในรายละเอียด จะเห็นว่า

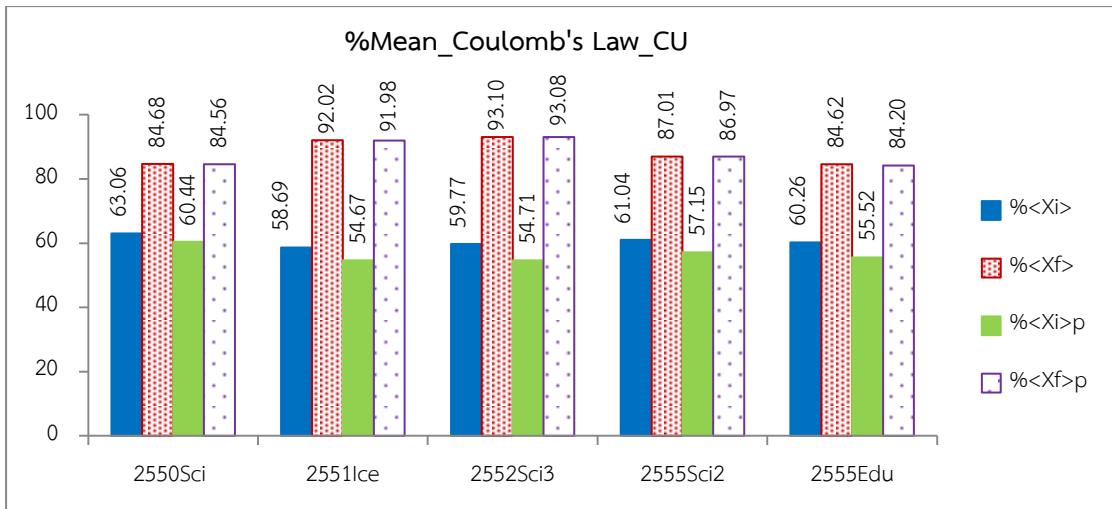
แม้นิสิตแต่ละกลุ่มมี P_1 ใกล้เคียงกัน แต่มี P_2 แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยนิสิต 2552Sci3 มี P_2 มากที่สุด แสดงว่าผู้เรียนกลุ่มนี้มีความรู้ผิดแนวคิดหลักมากที่สุด รองลงมาคือนิสิต 2551Ice นิสิต 2555Edu และนิสิต 2555Sci2 ตามลำดับ ในขณะที่นิสิต 2550Sci มีความรู้ผิดแนวคิดหลักน้อยที่สุด เนื่องจากมี P_2 น้อยที่สุด

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิตทั้ง 5 กลุ่ม มีแนวโน้มเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 อีกทั้งความน่าจะเป็นในการใช้โมเดล 2 ลดลง กระทั่งมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้เพิ่มขึ้น และมีความรู้ผิดแนวคิดหลักลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ สามารถพิจารณาค่าไอเกน ดังรูป 4.34



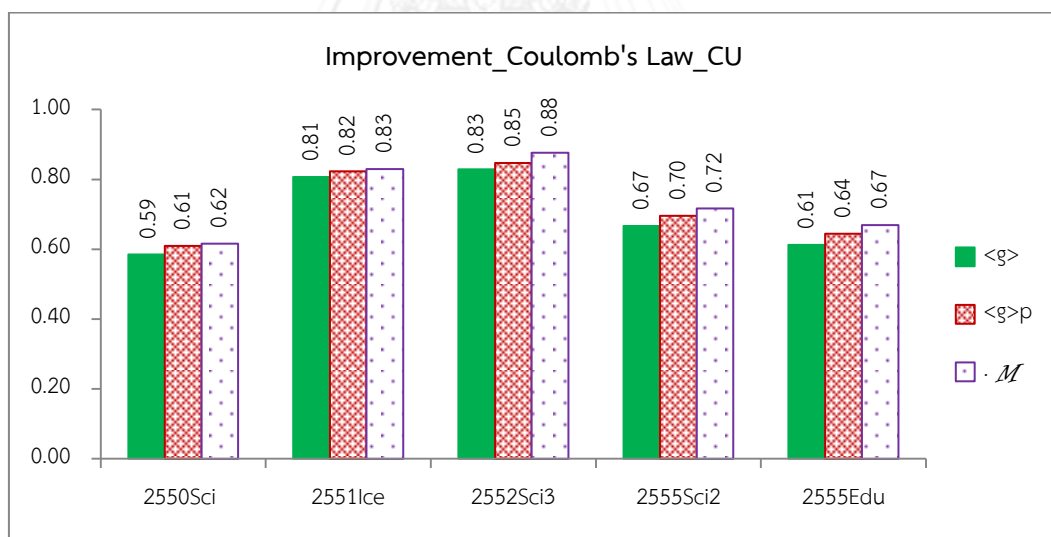
รูป 4.34 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.34 จะเห็นว่า หลังการเรียนการสอน ทุกกลุ่มมีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่า ผู้เรียนมีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเรียน นอกจากนี้ สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.35



รูป 4.35 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.35 ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>p$ และ $\%<X_f>$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้เพิ่มขึ้น โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.36



รูป 4.36 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อกฎคูลอมบ์

จากรูป 4.36 จะเห็นว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ ค่อนข้างสูง แสดงว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีพัฒนาการค่อนข้างสูง โดยนิสิต 2551lce และ 2552Sci3 มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

4.2.5 หัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า ใช้คำถาม 3 คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 4 - 6 เนื้อหาของคำถามเกี่ยวกับสมบัติของสนามไฟฟ้า (ภาคผนวก ง) กำหนดโมเดล ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ สนามไฟฟ้ามีสมบัติการซ้อนทับ (Superposition) และหากมีประจุอยู่ในสนามไฟฟ้า จะเกิดแรงทางไฟฟ้ากระทำต่อประจุดังกล่าว

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก ในลักษณะต่างๆ เกี่ยวกับสมบัติของสนามไฟฟ้า เช่น ผู้เรียนสับสนระหว่างสมบัติของสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็ก

M_3 : คือกรณีที่ผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องกันเนื้อหาในหัวข้อ

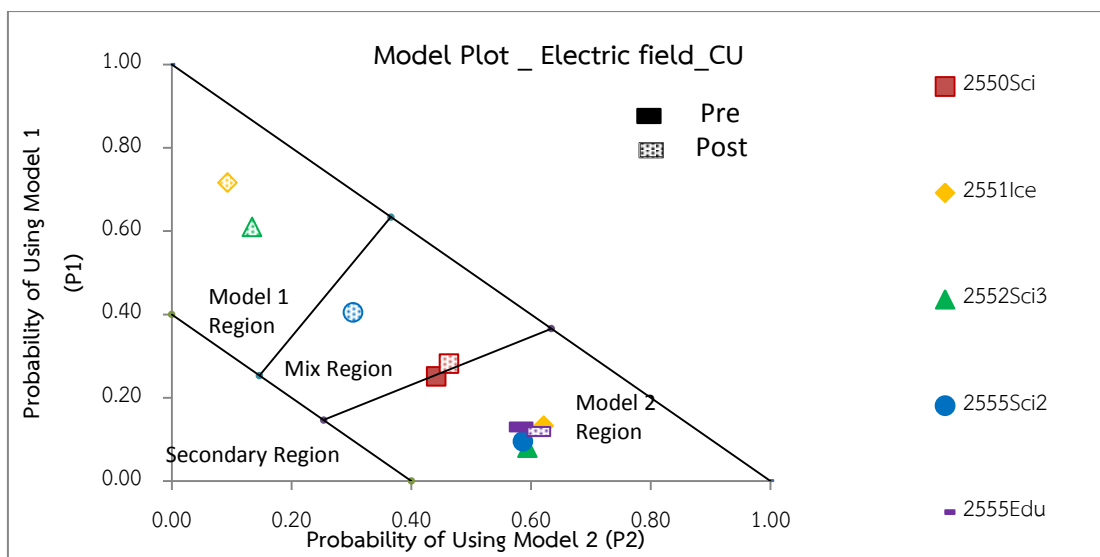
แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.10

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต

5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	39.64	25.12	0.70	0.25	0.44	0.01	41.74	28.21	0.75	0.28	0.46	0.00	0.03	0.04	0.02
2551Ice	25.82	13.25	0.77	0.13	0.62	0.01	73.71	71.68	0.81	0.72	0.09	0.00	0.65	0.67	0.73
2552Sci3	19.54	7.94	0.73	0.08	0.59	0.06	64.37	61.05	0.78	0.61	0.13	0.03	0.56	0.58	0.63
2555Sci2	26.41	9.46	0.72	0.09	0.59	0.04	50.65	40.48	0.71	0.40	0.30	0.00	0.33	0.34	0.38
2555Edu	22.44	12.96	0.73	0.13	0.57	0.04	28.85	11.88	0.73	0.12	0.59	0.01	0.08	-0.01	-0.02

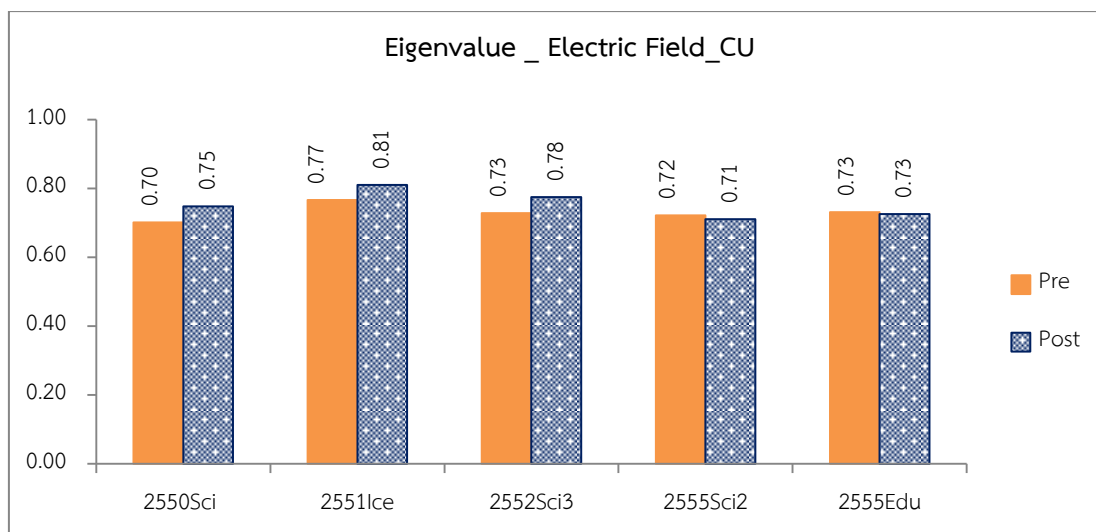
จากตาราง 4.10 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.37 - 4.40



รูป 4.37 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

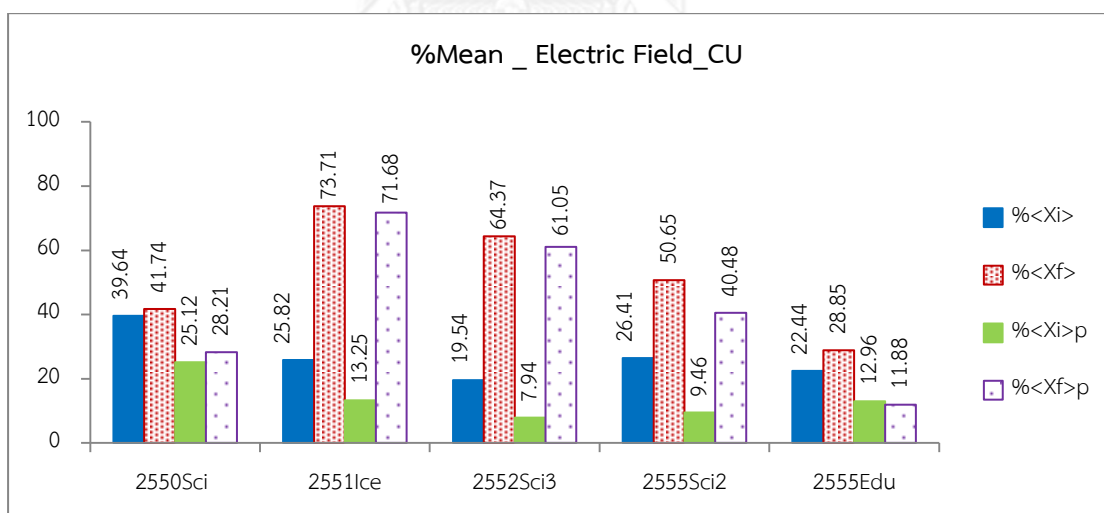
จากรูป 4.37 ก่อนเรียน จุดโมเดลของแต่ละกลุ่มอยู่ใกล้กันในบริเวณโมเดล 2 แสดงว่า มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน เป็นความรู้ผิดแนวคิดหลัก ยกเว้นจุดโมเดลของนิสิต 2550Sci อยู่ห่างออกไป อยู่บนเส้นรอยต่อระหว่างบริเวณโมเดล 2 กับบริเวณผสม แสดงว่า มีพื้นฐานความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท

หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2551Ice และนิสิต 2552Sci3 เลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า นิสิต 2 กลุ่มนี้ มีการปรับเปลี่ยนจากความรู้ผิดแนวคิดหลักเป็นความรู้ถูกต้อง จุดโมเดลของนิสิต 2555Sci2 เลื่อนไปยังบริเวณผสม แสดงว่า มีการปรับเปลี่ยนความรู้จากผิดแนวคิดหลักเป็นความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท กลุ่มที่เหลืออยู่ใกล้ตำแหน่งเดิม แสดงว่า มีการปรับเปลี่ยนความรู้น้อยมาก โดยยังคงมีความรู้ที่ไม่ถูกต้อง ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอแกน ดังรูป 4.38



รูป 4.38 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

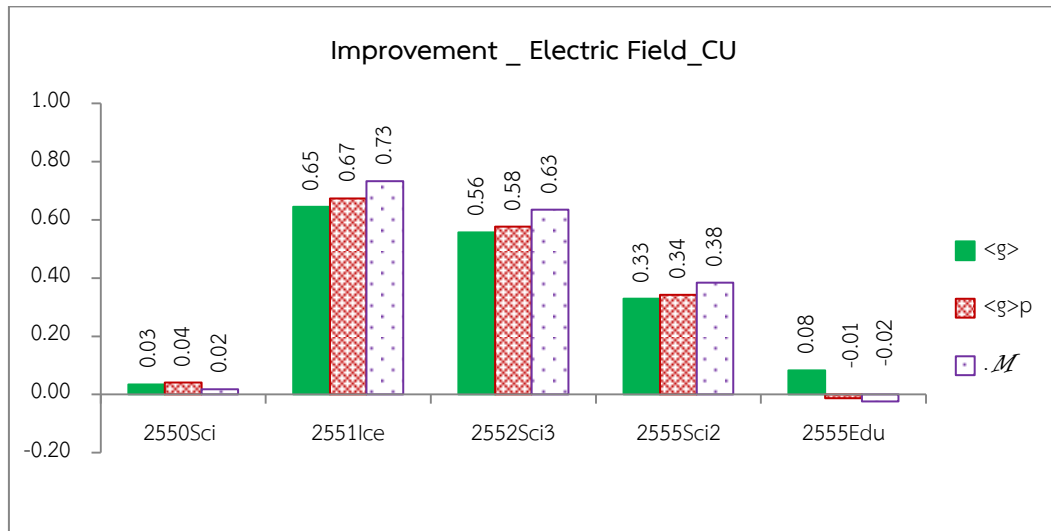
จากรูป 4.38 จะเห็นว่า หลังการเรียนการสอน นิสิต 2550Sci นิสิต 2551lce และนิสิต 2552Sci3 มีค่าไอเกนเพิ่มขึ้น แสดงว่า หลังเรียน ผู้เรียน 3 กลุ่มนี้ มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้น นอกจากนั้น สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.39



รูป 4.39 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

จากรูป 4.39 จะเห็นว่า ผู้เรียนทุกกลุ่มมี $\%<X_i>p$ น้อยกว่า $\%<X_i>$ อย่างชัดเจน โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับรูป 4.3 นอกจากนั้น จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>p$ เพิ่มขึ้น

จากก่อนเรียน แสดงว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้เพิ่มขึ้น ยกเว้นนิสิต 2555Edu มี $\langle X_f \rangle_p$ ลดลงจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้ลดลง โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.40



รูป 4.40 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

จากรูป 4.40 จะเห็นว่า นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ แสดงว่า มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ส่วนนิสิต 2550Sci มีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ เกือบเป็น 0 แสดงว่ามีพัฒนาการน้อยมาก นอกจากนั้น จะเห็นว่านิสิต 2555Edu มีค่า $\langle g \rangle_p$ และ M ติดลบ แสดงว่ามีพัฒนาการลดลง

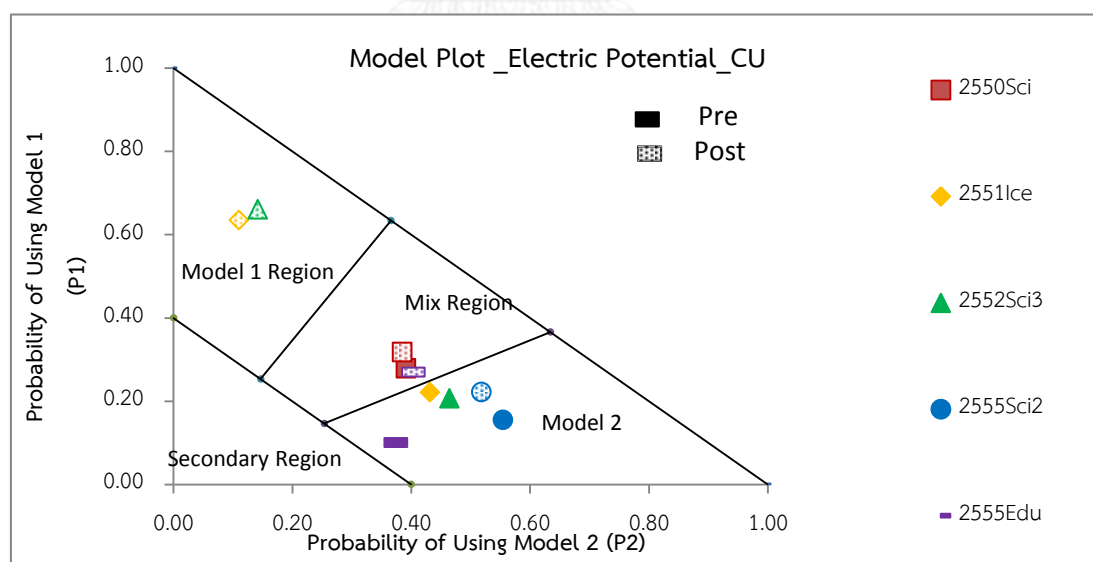
4.2.6 หัวข้อศักย์ไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตในหัวข้อนี้ จะคล้ายกับหัวข้อ 4.1.2 แต่ในหัวข้อนี้ ใช้คำถาม 3 คำถามจากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 14-16 โดยรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับเนื้อหาในคำถาม และการกำหนดโมเดล สามารถดูได้จากหัวข้อ 4.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.11

ตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	35.74	27.82	0.71	0.28	0.39	0.04	42.64	31.81	0.72	0.32	0.38	0.02	0.11	0.06	0.05
2551lce	36.15	22.11	0.69	0.22	0.43	0.04	66.67	63.51	0.75	0.64	0.11	0.00	0.48	0.53	0.58
2552Sci3	34.48	20.64	0.69	0.21	0.46	0.02	68.97	66.09	0.80	0.66	0.14	0.00	0.53	0.57	0.60
2555Sci2	27.27	15.48	0.73	0.15	0.55	0.02	34.63	22.18	0.75	0.22	0.52	0.01	0.10	0.08	0.08
2555Edu	21.79	10.04	0.65	0.10	0.35	0.19	40.38	26.99	0.67	0.27	0.38	0.02	0.24	0.19	0.15

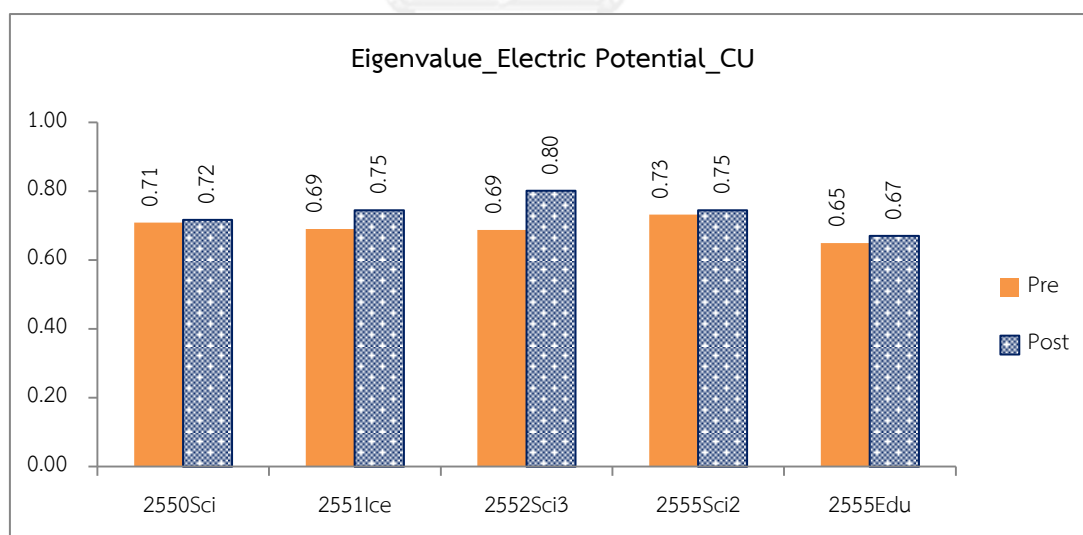
จากตาราง 4.11 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.41 - 4.44



รูป 4.41 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.41 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2550Sci อยู่ในบริเวณผสม แสดงว่ามีพื้นฐานความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท ในขณะที่ กลุ่มอื่นๆ จุดโมเดลอยู่ในบริเวณโมเดล 2 แสดงว่ามีความรู้ผิดแนวคิดหลัก นอกจากนี้ จะเห็นว่า นิสิต 2555Edu อาจจะมีแนวโน้มจะเป็น P_3 มากกว่ากลุ่มอื่นๆ หรืออาจจะมีค่าไอเกนต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจาก จุดโมเดลของนิสิต 2555Edu มีระยะห่างจากเส้นขอบเขตโมเดลบนมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ซึ่งหากพิจารณาจากตาราง 4.11 เห็นได้ว่า นิสิตกลุ่มนี้มีแนวโน้มจะเป็น P_3 มากกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าไอเกนใกล้เคียงกับกลุ่มอื่นๆ แสดงว่า นิสิต 2555Edu (บางส่วน) ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า

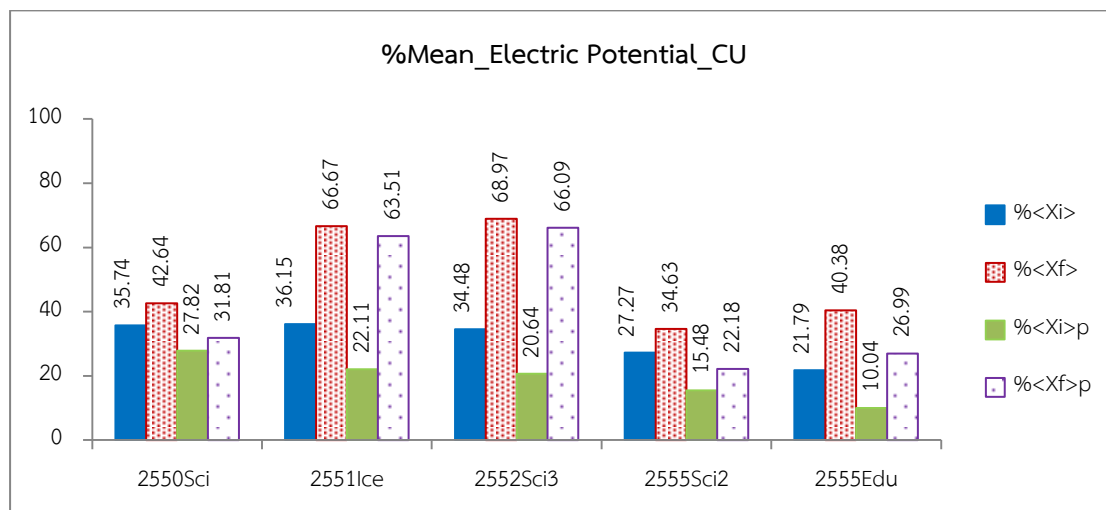
หลังเรียน จุดโมเดลของนิสิต 2550Sci และ 2555Sci2 ยังคงอยู่ใกล้ตำแหน่งเดิม แสดงว่าการปรับเปลี่ยนความรู้น้อยมาก ในขณะที่จุดโมเดลของนิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีแนวโน้มเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 แสดงว่า มีความรู้เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน ส่วนจุดโมเดลของนิสิต 2555Edu เลื่อนไปยังบริเวณผสม แสดงว่า มีการปรับเปลี่ยนจากความรู้ผิดแนวคิดหลัก เป็นความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท นอกจากนี้ จะเห็นว่านิสิต 2555Edu มีระยะห่างจากเส้นขอบเขตโมเดลบนลดลง แสดงว่า นิสิต 2555Edu มีความรู้สัมพันธ์กับเนื้อหามากขึ้น (P_3 ลดลง) เมื่อเทียบกับก่อนเรียน ทั้งนี้ สามารถพิจารณาค่าไอเกนของแต่ละกลุ่ม ดังรูป 4.42



รูป 4.42 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

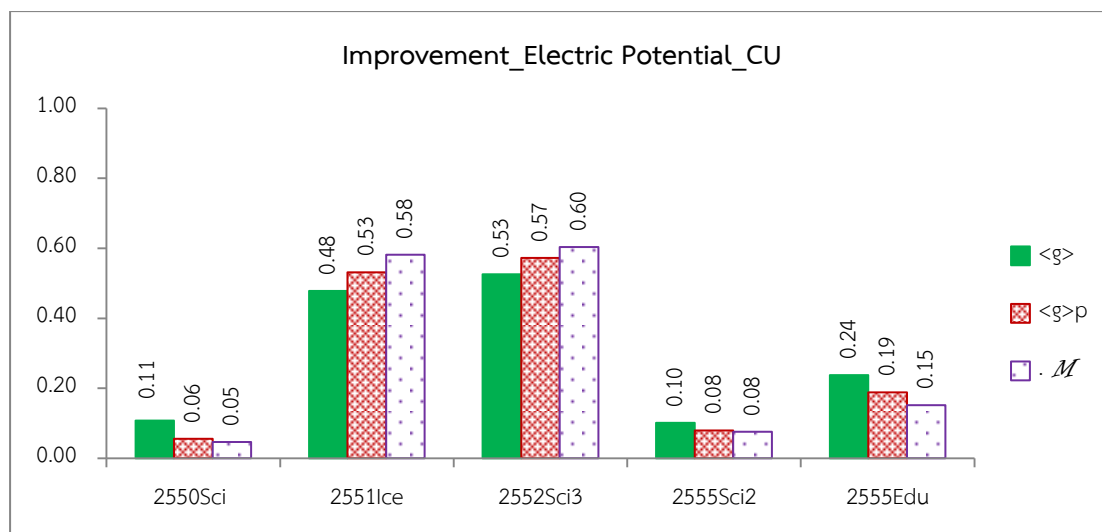
จากรูป 4.42 จะเห็นว่า หลังการเรียนการสอน นิสิต 2552Sci3 มีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่า หลังเรียน นิสิตกลุ่มนี้ มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้น รองลงมาคือ นิสิต

2551Ice ในขณะที่กลุ่มอื่นๆ มีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเล็กน้อย นอกจากนี้ สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.43



รูป 4.43 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.43 จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>_p$ และ $\%<X_f>$ เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิสิต 2551Ice และ นิสิต 2552Sci3 มีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยแสดงพัฒนาการของผู้เรียน ดังรูป 4.44



รูป 4.44 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดล นิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

จากรูป 4.44 จะเห็นว่า นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน แสดงว่า นิสิต 2 กลุ่มนี้มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างเด่นชัด รองลงมาคือ นิสิต 2555Edu ในขณะที่ นิสิต 2550Sci และ 2555Sci2 มีพัฒนาการน้อยมาก

4.2.7 หัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก ใช้คำถาม 2 คำถาม จากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 21 - 22 เนื้อหาของคำถามเกี่ยวกับลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็ก (ภาคผนวก จ) กำหนดโมเดล ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าหาขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวความคิดหลัก ในลักษณะต่างๆ เกี่ยวกับลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็ก เช่น เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้วใต้เข้าหาขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็ก

M_3 : คือกรณีที่ผู้เรียนเลือกตอบตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องข้อกับเนื้อหาในหัวข้อ

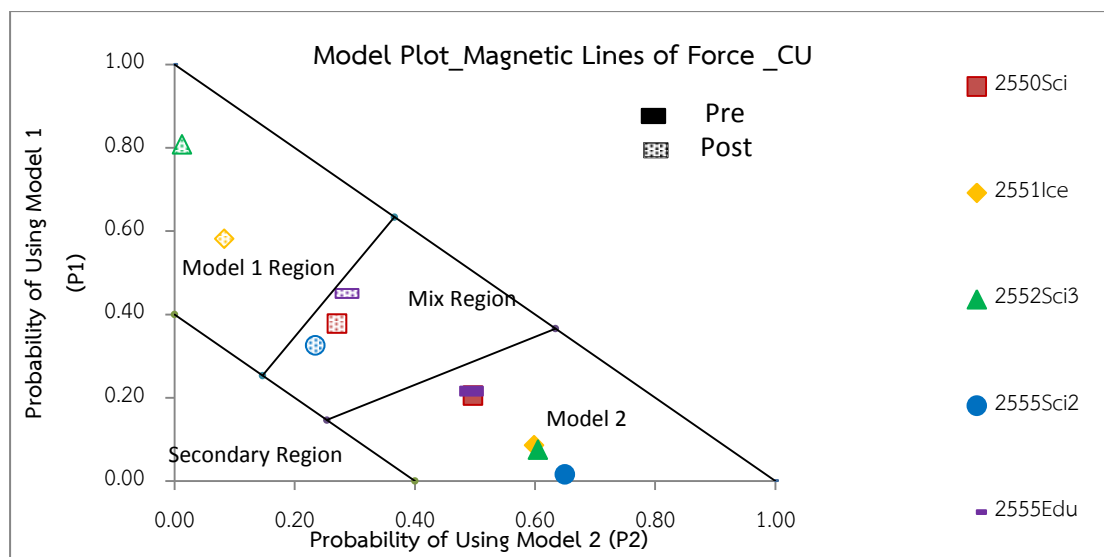
แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.12

ตาราง 4.12 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต

5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

กลุ่ม – ตัวอย่าง	ข้อสอบเทคก่อนเรียน						ข้อสอบเทคหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	36.49	20.48	0.70	0.20	0.50	0.00	50.00	37.83	0.65	0.38	0.27	0.00	0.21	0.22	0.28
2551Ice	33.10	8.55	0.69	0.09	0.60	0.00	61.97	58.20	0.67	0.58	0.08	0.00	0.43	0.54	0.64
2552Sci3	18.97	7.48	0.68	0.07	0.61	0.00	81.03	80.87	0.82	0.81	0.01	0.00	0.77	0.79	0.85
2555Sci2	20.78	1.55	0.67	0.02	0.65	0.01	46.75	32.57	0.56	0.33	0.23	0.00	0.33	0.32	0.41
2555Edu	33.65	21.57	0.69	0.22	0.48	0.00	54.81	45.06	0.72	0.45	0.27	0.00	0.32	0.30	0.34

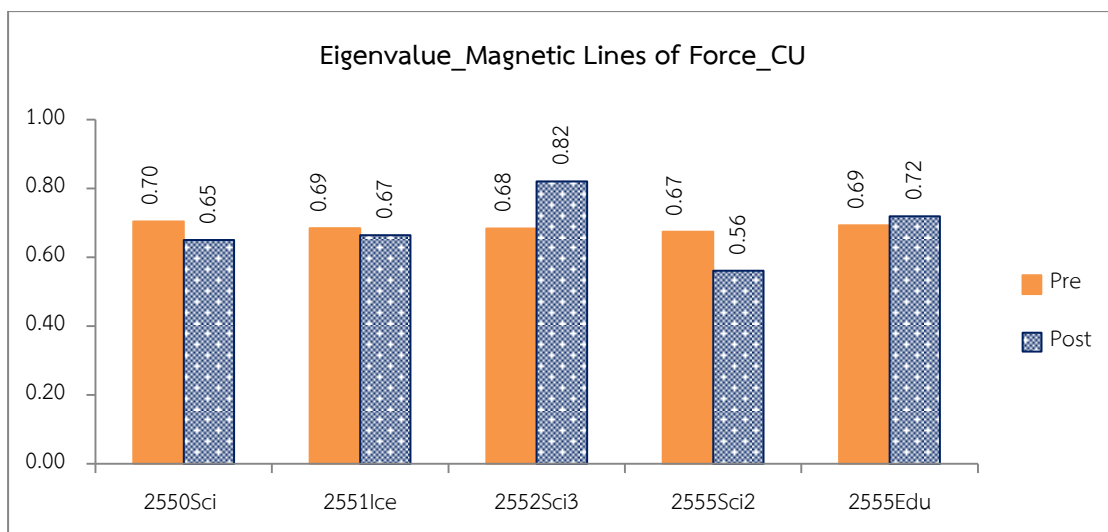
จากตาราง 4.12 แสดงข้อสอบเทคเหล่านี้ ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.45 - 4.48



รูป 4.45 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

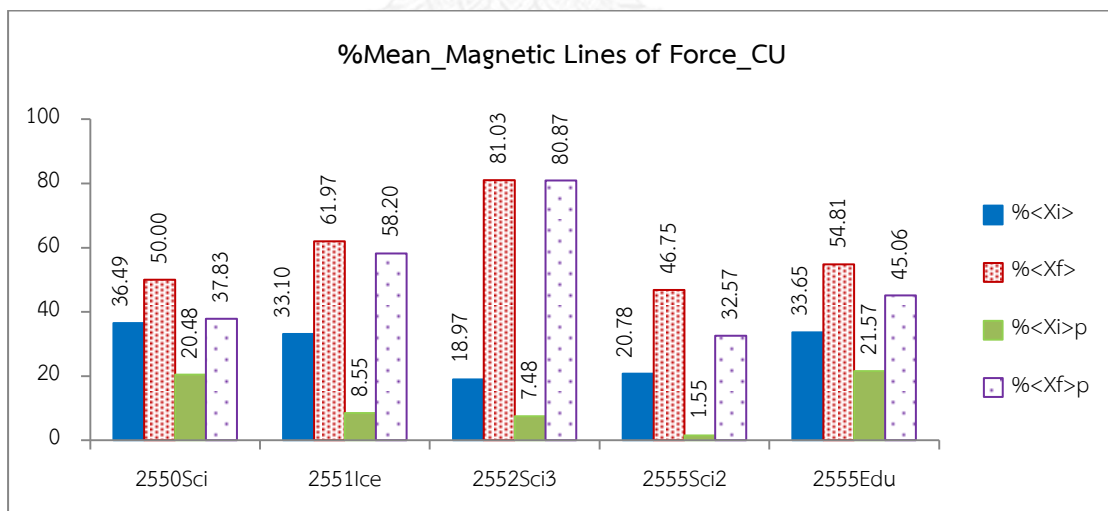
จากรูป 4.45 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิตทั้ง 5 กลุ่ม อยู่ในบริเวณโมเดล 2 แสดงว่านิสิตทุกกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิสิต 2555Sci2 มีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลักอย่างชัดเจน (จุดโมเดลติดเส้นแกนนอน)

หลังเรียน นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีพัฒนาการดีกว่านิสิตกลุ่มอื่นๆ อย่างเด่นชัด เห็นได้จากการที่จุดโมเดลหลังเรียนเลื่อนไปยังบริเวณโมเดล 1 อย่างชัดเจน ในขณะที่ นิสิต 2550Sci นิสิต 2555Sci2 และนิสิต 2555Edu มีความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท เห็นได้จากจุดโมเดลหลังเรียนของนิสิต 3 กลุ่มดังกล่าว เลื่อนไปยังบริเวณผสม โดยแสดงค่าไอแกน ดังรูป 4.46



รูป 4.46 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป 4.46 จะเห็นว่า หลังการเรียนการสอน นิสิต 2552Sci3 มีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่านิสิตกลุ่มนี้ มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเรียน รองลงมา คือ นิสิต 2555Edu ในขณะที่ กลุ่มอื่นๆ มีค่าไอเกนลดลงจากก่อนเรียน แสดงว่ามีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันน้อยลง นอกจากนี้ สามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.47

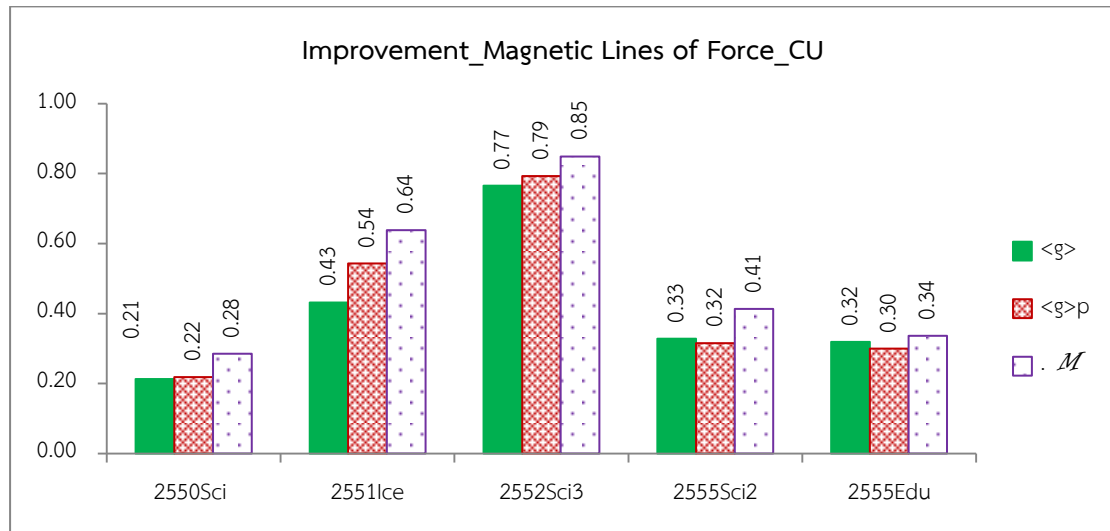


รูป 4.47 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป 4.47 จะเห็นว่า ผู้เรียนทุกกลุ่มมี $\%<X_i>p$ น้อยกว่า $\%<X_i>$ อย่างชัดเจน โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับรูป 4.3 นอกจากนี้ จะเห็นว่า ผู้เรียนแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>p$ และ $\%<X_f>$

เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่านิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้เพิ่มขึ้น โดยสามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียน

ดังรูป 4.48



รูป 4.48 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดลของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป 4.48 จะเห็นว่า 2552Sci3 มีพัฒนาการสูงสุด เนื่องจากมีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน รองลงมาคือ นิสิต 2551Ice

4.2.8 หัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

การวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของนิสิตในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ ใช้คำถาม 2 คำถาม จากแบบทดสอบมาตรฐาน BEMA ข้อ 20 และข้อ 23 โดยหาทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุในสนามแม่เหล็ก (ภาคผนวก ฉ) กำหนดโมเดล ดังนี้

M_1 : แสดงความรู้ที่ถูกต้อง กล่าวคือ ทิศทางของสนามแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ เมื่อ \vec{F} คือ แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ q ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว \vec{v} ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กความเข้ม \vec{B}

M_2 : แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก ในลักษณะต่างๆ เช่น ผู้เรียนหาทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุ q ในทำนองเดียวกับแรงไฟฟ้า หรือผู้เรียนไม่คำนึงถึงชนิดของประจุว่าเป็นประจุบวกหรือลบ เป็นต้น

M_3 : คือกรณีผู้เรียนเลือกตัวเลือกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในหัวข้อ

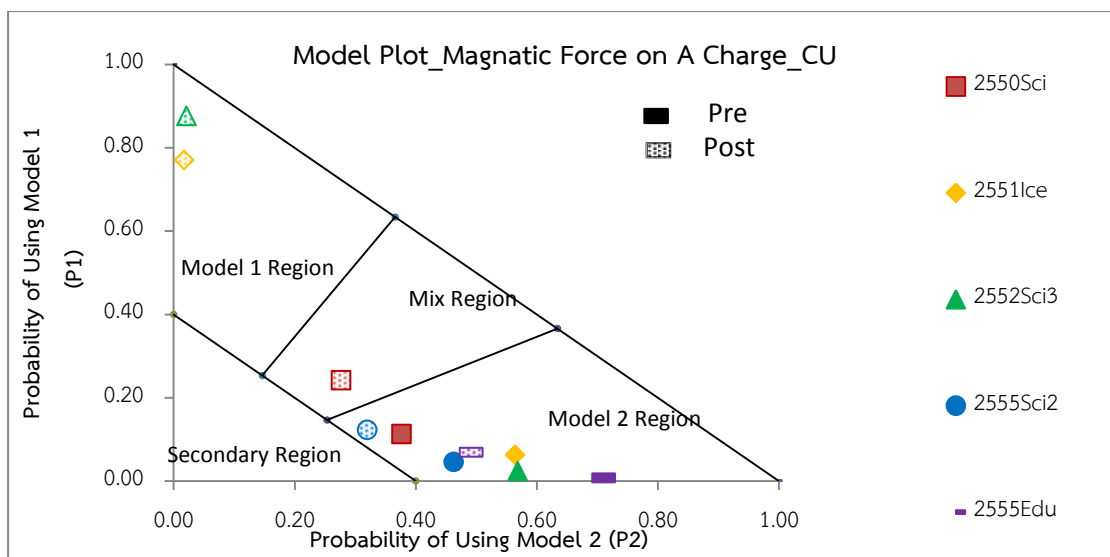
แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียน ดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์โมเดล การวิเคราะห์คะแนน และสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานของนิสิต

5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

กลุ่ม - ตัวอย่าง	ข้อสนเทศก่อนเรียน						ข้อสนเทศหลังเรียน						พัฒนาการ		
	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\%(x)$	$\%(x)_p$	σ_p^2	P_1	P_2	P_3	$\langle g \rangle$	$\langle g \rangle_p$	M
2550Sci	18.32	11.26	0.60	0.11	0.38	0.11	28.23	24.23	0.54	0.24	0.28	0.02	0.20	0.15	0.16
2551lce	17.84	6.22	0.65	0.06	0.56	0.02	51.64	77.11	0.79	0.77	0.02	0.00	0.69	0.76	0.81
2552Sci3	16.09	2.31	0.63	0.02	0.57	0.03	58.62	87.69	0.90	0.88	0.02	0.00	0.84	0.87	0.90
2555Sci2	12.99	4.56	0.62	0.05	0.46	0.11	21.65	12.25	0.55	0.12	0.32	0.10	0.16	0.08	0.12
2555Edu	7.05	0.72	0.74	0.01	0.69	0.04	19.23	6.93	0.58	0.07	0.47	0.04	0.20	0.06	0.15

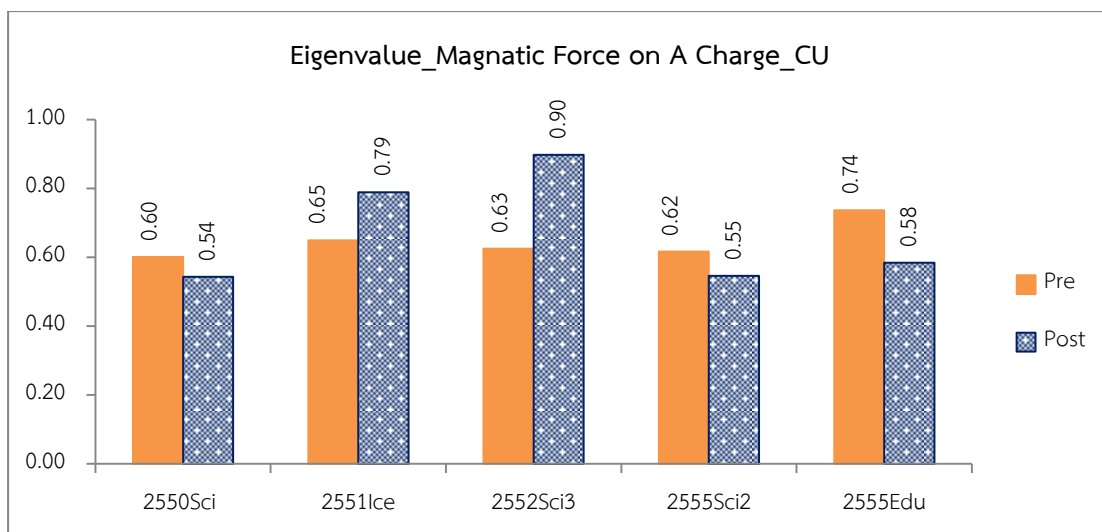
จากตาราง 4.13 แสดงข้อสนเทศเหล่านี้ได้ด้วยแผนภาพโมเดลและฮิสโทแกรม ดังรูป 4.49 - 4.52



รูป 4.49 แผนภาพโมเดลในสถานะโมเดลปฐมภูมิของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อ แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

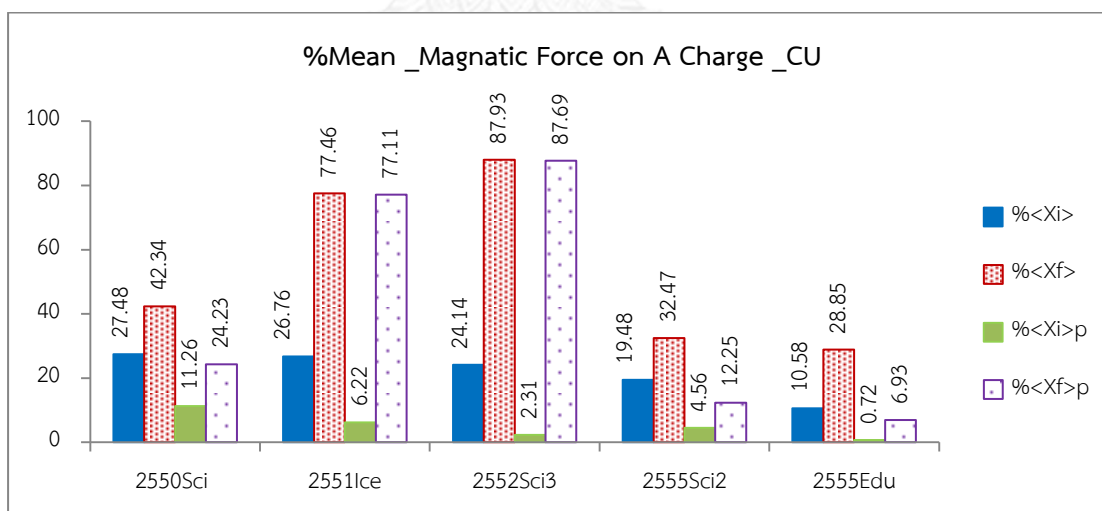
จากรูป 4.49 ก่อนเรียน จุดโมเดลของนิสิตแต่ละกลุ่มอยู่ในบริเวณโมเดล 2 แสดงว่า มีความรู้ ผิดแนวคิดหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิสิต 2552Sci3 และ 2555Edu มีความรู้ผิดแนวคิดหลักอย่าง สิ้นเชิง เห็นได้จากการที่จุดโมเดลอยู่บนเส้นแกนนอน

หลังเรียน นิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้ถูกต้องมากขึ้น เห็นได้จาก จุดโมเดลมีแนวโน้มเลื่อนไป บริเวณโมเดล 1 โดยเฉพาะนิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีการเลื่อนของจุดโมเดลเด่นชัดที่สุด ทั้งนี้ สามารถแสดงค่าไอเกน ดังรูป 4.50



รูป 4.50 ค่าไอเกนก่อน (Pre) และหลังเรียน (Post) ของนิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

จากรูป 4.50 จะเห็นว่า หลังการเรียนการสอน นิสิต 2552Sci3 มีค่าไอเกนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่า หลังเรียน นิสิตกลุ่มนี้ มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันมากขึ้น รองลงมาคือ นิสิต 2551lce ในขณะที่ กลุ่มอื่นๆ มีค่าไอเกนลดลงจากก่อนเรียน แสดงว่า มีความรู้สอดคล้องไปทางเดียวกันน้อยลง นอกจากนั้น สามารถแสดงผลการวิเคราะห์คะแนน ดังรูป 4.51

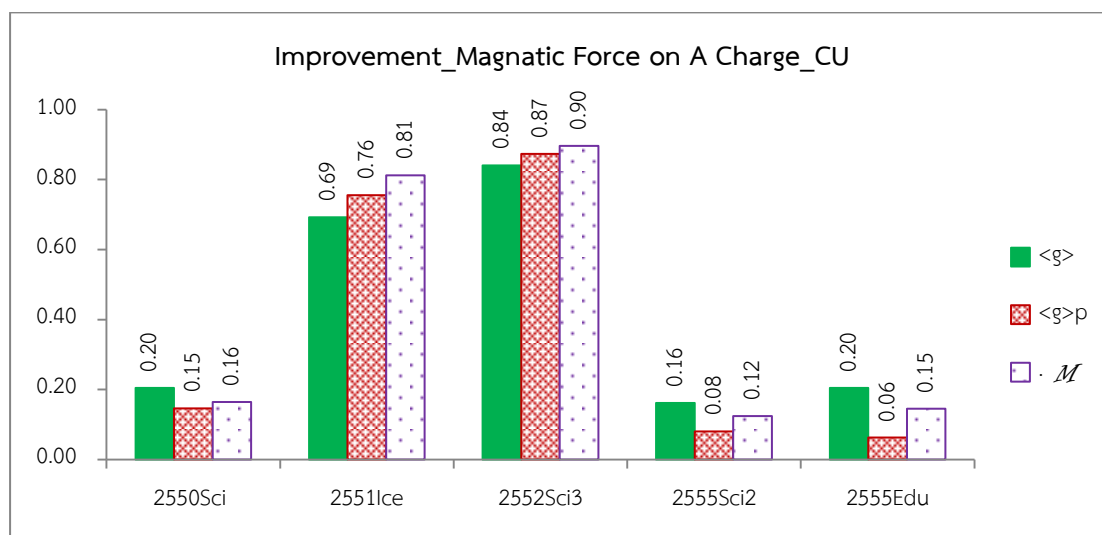


รูป 4.51 ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ ก่อนและหลังเรียนของนิสิต 5 กลุ่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

จากรูป 4.51 จะเห็นว่า นิสิตทุกกลุ่มมี $\%<X_i>_p$ น้อยกว่า $\%<X_i>$ อย่างชัดเจน โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับรูป 4.3 นอกจากนั้น จะเห็นว่า นิสิตแต่ละกลุ่ม มี $\%<X_f>_p$ และ $\%<X_f>$

เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน แสดงว่านิสิตแต่ละกลุ่มมีความรู้เพิ่มขึ้น โดยสามารถแสดงพัฒนาการของผู้เรียน

ดังรูป 4.52



รูป 4.52 สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐมภูมิ และพัฒนาการโมเดล นิสิต 5 กลุ่ม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ

จากรูป 4.52 เห็นได้ว่า นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างเด่นชัด เนื่องจาก มีค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน

ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 4.2.1 - 4.2.8 สรุปได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน โดยนิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าดีกว่าความรู้เกี่ยวกับแม่เหล็ก ซึ่งหากพิจารณาผลึกในรายละเอียด เห็นได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับกฎคูลอมบ์ แต่มีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลักเกี่ยวกับสมบัติของสนามไฟฟ้า เส้นแรงแม่เหล็ก และแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ นอกจากนี้ นิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้แตกต่างกันเกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า กล่าวคือ บางกลุ่มมีพื้นฐานความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท บางกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลัก หรือบางกลุ่มยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม หลังการเรียนการสอน เห็นได้ว่า นิสิตแต่ละกลุ่มมีพัฒนาการดีขึ้นในการเรียนรู้เนื้อหาทุกหัวข้อ โดยนิสิตมีพัฒนาการในการเรียนรู้กฎคูลอมบ์สูงที่สุด เนื่องจากโดยส่วนใหญ่ นิสิตแต่ละกลุ่มมี ค่า M ค่า $\langle g \rangle_p$ และ $\langle g \rangle$ สูงกว่าหัวข้ออื่นๆ นอกจากนี้ เห็นได้ว่า นิสิต 2551Ice และ 2552Sci3 มีพัฒนาการสูงกว่านิสิตกลุ่มอื่นๆ ในทุกหัวข้อ

4.3 อภิปรายเปรียบเทียบระหว่างข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกับข้อสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนและข้อสนเทศที่ได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน โดยเปรียบเทียบผ่านการใช้งานในกลุ่มตัวอย่าง

จากการศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง ดังหัวข้อ 4.1 และหัวข้อ 4.2 เห็นได้ว่าการวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อสนเทศเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี เช่น จากรูป 4.35 เห็นได้ว่าหากพิจารณาสถานะของผู้เรียนด้วยคะแนนก่อนเรียนเพียงอย่างเดียว จะไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของนิสิตแต่ละกลุ่มได้ เนื่องจากนิสิตแต่ละกลุ่มมีร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนใกล้เคียงกัน แต่หากแสดงสถานะของผู้เรียนด้วยจุดโมเดลก่อนเรียน ดังรูป 4.33 เห็นได้ว่านิสิตแต่ละกลุ่มมีสถานะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ แม้จุดโมเดลแต่ละจุดมีความน่าจะเป็น P_1 ใกล้เคียงกัน แต่มีความน่าจะเป็น P_2 แตกต่างกัน (ความน่าจะเป็น P_2 แสดงความรู้ผิดแนวคิดหลัก) ดังนั้น การวิเคราะห์โมเดลจึงให้รายละเอียดเกี่ยวกับสถานะผู้เรียนได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน นั่นคือ นอกจากให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ถูกต้องแล้ว การวิเคราะห์โมเดลยังสามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดได้อีกด้วย

นอกจากการวิเคราะห์โมเดลสามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับสมรรถนะของผู้เรียนได้ดีกว่าการวิเคราะห์คะแนนแล้ว จะเห็นว่า การวิเคราะห์โมเดลยังสามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับพัฒนาการของผู้เรียนได้ดีกว่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานอีกด้วย เช่น จากรูป 4.28 จะเห็นว่า หากพิจารณาค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ นิสิต 2555Ice มีค่า $\langle g \rangle$ และ $\langle g \rangle_p$ มากกว่านิสิต 2552Sci3 แต่หากพิจารณาค่า M จะเห็นว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมีค่า M เท่ากัน บ่งบอกว่า 2555Ice มีความน่าจะเป็น P_2 เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน หรือนิสิต 2552Sci3 มีความน่าจะเป็น P_2 ลดลงจากก่อนเรียน ดังนั้น จะเห็นว่าค่า M ครอบคลุมรายละเอียดของความรู้ผิดแนวคิดหลักด้วย (ดูในหัวข้อ 3.2.2)

ทั้งนี้ จะเห็นว่า ในหลายๆ กรณี ร้อยละคะแนนเฉลี่ย ($\% \langle X \rangle$) มีค่าต่างกับร้อยละคะแนนเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐม ($\% \langle X \rangle_p$) อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูป 4.7 รูป 4.11 รูป 4.39 รูป 4.43 รูป 4.47 และ รูป 4.51 นอกจากนี้ ในบางกรณี สัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ย ($\langle g \rangle$) มีค่าต่างกับสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานเฉลี่ยในสถานะโมเดลปฐม ($\langle g \rangle_p$) อย่างเด่นชัด เช่น กรณีของนิสิต 2555Edu ในรูป 4.40 และกรณีของนิสิตบางกลุ่มในรูป 4.52 โดยความแตกต่างดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อค่าไอเกนมีค่าน้อย (ดูหัวข้อ 3.2.1-3.2.2) เนื่องจาก สัดส่วนของผู้เรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิสามารถแสดงได้ด้วยค่าไอเกน เช่น จากรูป 4.2 ค่าไอเกนก่อนเรียนของนิสิต CU2553 มีค่า 0.61 บ่งบอกว่าสถานะโมเดล

ปฐมภูมิแสดงสถานะของผู้เรียนเพียงร้อยละ 61 หรือ 33 คน จากนิสิตทั้งหมดในกลุ่มจำนวน 55 คน ส่วนสถานะของนิสิตอีก 22 คนไม่ได้ถูกแสดงด้วยสถานะโมเดลปฐมภูมิ ดังนั้น ในกลุ่มผู้เรียนที่มีค่าไอเกนน้อยๆ ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ได้มาจากการวิเคราะห์โมเดลอาจจะไม่ครอบคลุมถึงผู้เรียนทั้งหมดในกลุ่ม ทั้งนี้ การใช้สถานะโมเดลปฐมภูมิแสดงสถานะของกลุ่มผู้เรียน จะมีประโยชน์อย่างมาก ในการแสดงสถานะของผู้เรียนกรณีที่คะแนนของผู้เรียนมีการกระจายสูง (ดูหัวข้อ 3.3.1)

ทั้งนี้ แบบทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะและพัฒนาการของผู้เรียนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ (BEMA และ CSEM) เป็นแบบทดสอบที่ใช้สำหรับประเมินผลโดยทั่วไป ไม่ได้เป็นแบบทดสอบที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับการวิเคราะห์โมเดลเป็นการเฉพาะ ทำให้ในแต่ละหัวข้อมีจำนวนคำถามน้อย (มากที่สุดมีเพียง 3 คำถาม) จึงอาจจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลที่ได้ ด้วยเหตุนี้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงพยายามนำการวิเคราะห์โมเดลมาประยุกต์ใช้ภายใต้ข้อจำกัดของแบบทดสอบ โดยการนำแต่ละหัวข้อมาวิเคราะห์ร่วมกัน ดังในหัวข้อ 4.1.4 – 4.1.5 และ หัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 ได้ข้อสรุปว่า การประยุกต์ใช้ในลักษณะดังกล่าว จะส่งผลให้ไม่สามารถดึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงตามบริบท แต่กระนั้น การวิเคราะห์โมเดลก็ยังคงมีประโยชน์ในแง่ที่สามารถจำแนกประเภทความรู้ของผู้เรียน กล่าวคือ สามารถจำแนกความรู้ออกเป็นโมเดล M_1 (ความรู้ถูกต้อง) M_2 (ผิดแนวคิดหลัก) และ M_3 (ความรู้ที่ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา)

บทที่ 5

บทสรุป

การวิเคราะห์โมเดล (Model Analysis) คือ วิธีการประเมินผล (Assessment Method) ที่สามารถให้รายละเอียดในเชิงคุณภาพเกี่ยวกับสมรรถนะ (Performance) และพัฒนาการ (Improvement) ของผู้เรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งรายละเอียดเกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน กล่าวคือ การวิเคราะห์โมเดลสามารถแจกแจงความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียนออกเป็นประเภทต่างๆ เช่น ความรู้ที่ผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามบริบท (Context Dependence) ความรู้ที่ผิดพลาดเนื่องจากผิดแนวคิดหลัก (Misconception) และความผิดพลาดเนื่องจากผู้เรียนไม่มีความรู้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการวิเคราะห์โมเดล โดยกำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาไว้ 3 ประการ และได้ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว ดังนี้

วัตถุประสงค์ประการแรก คือ เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลสารสนเทศ (Information) ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกับข้อมูลสารสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์คะแนน (Score – Base Analysis) และข้อมูลสารสนเทศที่ได้จากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน (Normalized Gain) ได้ข้อสรุปว่า ในด้านทฤษฎี การวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนแตกต่างจากการวิเคราะห์คะแนน กล่าวคือ หลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนในการวิเคราะห์โมเดลมาจากทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ในขณะที่ หลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียนในการวิเคราะห์คะแนนมาจากทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม ในด้านการใช้งาน การวิเคราะห์โมเดลสามารถให้ข้อมูลสารสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวกับความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียน กล่าวคือ การวิเคราะห์โมเดลสามารถจำแนกความรู้ที่ผิดพลาดของผู้เรียนออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ ความรู้ที่ผิดพลาดเนื่องจากความรู้ผิดแนวคิดหลัก ความรู้ที่ผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามบริบท และความผิดพลาดเพราะผู้เรียนยังไม่มีความรู้ในเนื้อหาที่เรียน นอกจากนี้ การวิเคราะห์โมเดลมีวิธีการระบุพัฒนาการของผู้เรียนต่างจากสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน กล่าวคือ ค่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐานถูกคำนวณจากคำตอบที่ถูกต้องเท่านั้น ในขณะที่ การวิเคราะห์โมเดลแสดงพัฒนาการของผู้เรียนด้วยค่าพัฒนาการโมเดล (Model Improvement) ซึ่งถูกคำนวณ

จากทั้งคำตอบที่ถูกต้องและคำตอบที่ผิดพลาด ดังนั้น การแสดงพัฒนาการโดยใช้การวิเคราะห์โมเดล จึงให้รายละเอียดครอบคลุมกว่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

วัตถุประสงค์ประการที่สอง คือ ศึกษาแนวคิดฟิสิกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โมเดล ได้ข้อสรุปว่า การวิเคราะห์โมเดลมีหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของผู้เรียน ในลักษณะเดียวกับหลักการแสดงสถานะและหลักการวัดสถานะของอนุภาคในทฤษฎีควอนตัม กล่าวคือ การวิเคราะห์โมเดลแสดงสถานะของผู้เรียนด้วยเวกเตอร์ และใช้หลักการวัดที่เรียกว่า *กระบวนการสุ่มของการกระตุ้นโมเดล* (Random Process of Model Triggering) โดยหลักการนี้บ่งบอกว่า ก่อนการวัด ผู้เรียนอาจจะมีรูปแบบของความรู้ (โมเดล) หลายรูปแบบในเวลาเดียวกัน แต่หลังการวัด เครื่องมือวัด (คำถาม) กระตุ้นให้ผู้เรียนเลือกใช้ความรู้เพียง 1 รูปแบบ เท่านั้น

วัตถุประสงค์ประการที่สาม คือ นำการวิเคราะห์โมเดลไปใช้ประเมินผลทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นิสิตชั้นปีที่ 1 จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนักศึกษาชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยมหิดล ในเนื้อหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตและแม่เหล็ก โดยแยกเป็น 2 ประเด็น ประเด็นแรก เปรียบเทียบผู้เรียนจากคณะวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 ระหว่างนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล ได้ข้อสรุปว่า นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งสอนแบบบรรยายและให้การบ้าน และนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดลซึ่งสอนแบบใช้*แผ่นงาน* (Work Sheet) ประกอบการบรรยาย มีพื้นฐานความรู้และพัฒนาการใกล้เคียงกัน (ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ) บ่งบอกว่า วิธีการสอนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนในกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่สอง เปรียบเทียบระหว่างนิสิต 3 คณะ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่ นิสิตคณะวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2550 คณะวิศวกรรมศานาชาติ ปีการศึกษา 2551 คณะวิทยาศาสตร์ ตอนเรียน 3 ปีการศึกษา 2552 คณะวิทยาศาสตร์ ตอนเรียน 2 ปีการศึกษา 2555 และคณะครุศาสตร์ ปีการศึกษา 2555 ได้ข้อสรุปว่า ก่อนเรียน นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกัน โดยนิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ไฟฟ้าดีกว่าความรู้แม่เหล็ก และมีพื้นฐานความรู้ถูกต้องในหัวข้อกฎคูลอมบ์ แต่มีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลักในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า หัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก และหัวข้อแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ ทั้งนี้ นิสิตแต่ละกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ที่แตกต่างกันในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า กล่าวคือ นิสิตบางกลุ่มมีพื้นฐานความรู้เปลี่ยนแปลงตามบริบท บางกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ผิดแนวคิดหลัก และบางกลุ่มยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม หลังการเรียนการสอน นิสิตแต่ละกลุ่มมีพัฒนาการในทุกหัวข้อ โดยมีพัฒนาการสูงสุด

ในหัวข้อกฎกลมบ้น นอกจากนั้น พบว่านิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ นานาชาติ ปีการศึกษา 2551 และ คณะวิทยาศาสตร์ ตอนเรียน 3 ปีการศึกษา 2552 มีพัฒนาการในการเรียนสูงกว่านิสิตกลุ่มอื่นๆ ในทุกหัวข้อ

จากการศึกษากลุ่มตัวอย่าง พบข้อจำกัดที่สำคัญ 2 ประการ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์โมเดล ประการแรก ในปัจจุบันยังไม่มีแบบทดสอบมาตรฐาน (Standard Test) ในหัวข้อไฟฟ้าสถิต ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับการวิเคราะห์โมเดลโดยเฉพาะ ประการต่อมา ในหลายๆ กรณี พบว่าสัดส่วนผู้เรียนในสถานะโมเดลปฐมภูมิ (Primary Model State) มีค่าน้อย (ค่าไอเกินต่ำ) ซึ่งอาจจะส่งผลให้สถานะโมเดลปฐมภูมิไม่ครอบคลุมสถานะของผู้เรียนส่วนใหญ่ในกลุ่ม อย่างไรก็ตาม แม้จะมีอุปสรรค 2 ประการดังกล่าว แต่จากการศึกษากลุ่มตัวอย่าง เห็นได้ว่าการวิเคราะห์โมเดลเป็นวิธีการประเมินผลที่สามารถให้ข้อสนเทศได้มากกว่าการวิเคราะห์คะแนน รวมทั้งสามารถให้ข้อสนเทศได้มากกว่าสัดส่วนเพิ่มบรรทัดฐาน

รายการอ้างอิง

1. ศิริชัย กาญจนวาสิ, ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม. 2544, กรุงเทพมหานคร: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. โชติกา ภาชีผล, การวัดและการประเมินผลการศึกษา. 2554, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิจัยและประเมินผลการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. Wang, J., *Advanced Quantitative Measurement Methodology in Physics Education Research*, in *Department of Physics*. 2009, The Ohio State University. p. 259.
4. Hake, R.R., *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*. *American Journal of Physics*, 1998. 66(1): p. 64-74.
5. Coletta, V.P., J.A. Phillips, and J.J. Steinert, *Interpreting force concept inventory scores: Normalized gain and SAT scores*. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2007. 3(1): p. 010106.
6. Bao, L. and E.F. Redish, *Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning*. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2006. 2(1): p. 010103.
7. Bao, L., K. Hogg, and D. Zollman, *Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law*. *American Journal of Physics*, 2002. 70(7): p. 766-778.
8. Bao, L., *Dynamics of Student Modeling: A Theory, Algorithms, and Application to Quantum Mechanics*, in *Department of Physics*. 1999, University of Maryland. p. 323.
9. วาสนา ประवालพฤษ, คู่มือการอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาบุคลากรทางการศึกษา เรื่อง หลักการและเทคนิคการประเมินทางการศึกษา. 2554. 240.
10. Ding, L., et al., *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2006. 2(1): p. 010105.
11. Steinberg, R.N. and M.S. Sabella, *Performance on multiple-choice diagnostics and complementary exam problems*. *The Physics Teacher*, 1997. 35(3): p. 150-155.
12. Redish, E.F., *Implications of cognitive studies for teaching physics*. *American Journal of Physics*, 1994. 62(9): p. 796-803.

13. Elkind, D. and J.H. Flavell, *Studies in cognitive development: essays in honor of Jean Piaget*. 1969, New York: Oxford Univ. Press.
14. Vosniadou, S., *Capturing and modeling the process of conceptual change*. Learning and Instruction, 1994. 4(1): p. 45-69.
15. diSessa, A.A., *Toward an Epistemology of Physics*. Cognition and Instruction, 1993. 10(2-3): p. 105-225.
16. วิรุพห์ สายคณิต, ทฤษฎีควอนตัม. 2525, กรุงเทพมหานคร ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
17. อิติ บวรรัตน์รักษ์ และ นคร ไพศาลกิตติสกุล, กลศาสตร์ควอนตัมเบื้องต้น. 2557, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
18. Sakurai, J.J., *Modern quantum mechanics*. 1985 Redwood City, Calif: Addison-Wesley.
19. Gasiorowicz, S., *Quantum physics*. 2003, Hoboken, N.J.: Wiley.
20. Maloney, D.P., et al., *Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism*. American Journal of Physics, 2001. 69(S1): p. S12-S23.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ BEMA ข้อ 1 – 3 ในหัวข้อกฎคูลอมบ์
วัตถุสองก้อนแต่ละก้อนมีประจุสุทธิ $+Q$ โดยมีแรงขนาด F กระทำต่อกัน ดังรูป a



รูป a



รูป b

เมื่อแทนวัตถุหนึ่งด้วยวัตถุอีกก้อนซึ่งมีประจุ $+4Q$ ดังรูป b

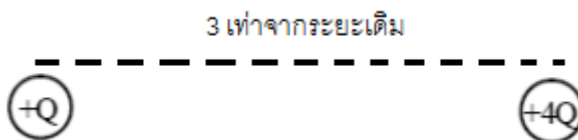
ข้อ 1 เติมขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ $+Q$ ในรูป a มีค่า F ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ $+Q$ ของสถานการณ์ในรูป b จะมีค่าเท่าใด

- | | | |
|-----------------|------------|-----------|
| (ก) $4F$ | (ข) $5F/2$ | (ค) $3F$ |
| (ง) $2F$ | (จ) F | (ฉ) $F/4$ |
| (ซ) ไม่มีข้อถูก | | |

ข้อ 2 ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ $+4Q$ ในรูป b มีค่าเท่าใด

- | | | |
|-----------------|------------|-----------|
| (ก) $4F$ | (ข) $5F/2$ | (ค) $3F$ |
| (ง) $2F$ | (จ) F | (ฉ) $F/4$ |
| (ซ) ไม่มีข้อถูก | | |

ต่อมาเลื่อนวัตถุทั้งสองให้อยู่ห่างกันเป็นระยะสามเท่าจากระยะเดิม ดังรูป c



รูป c

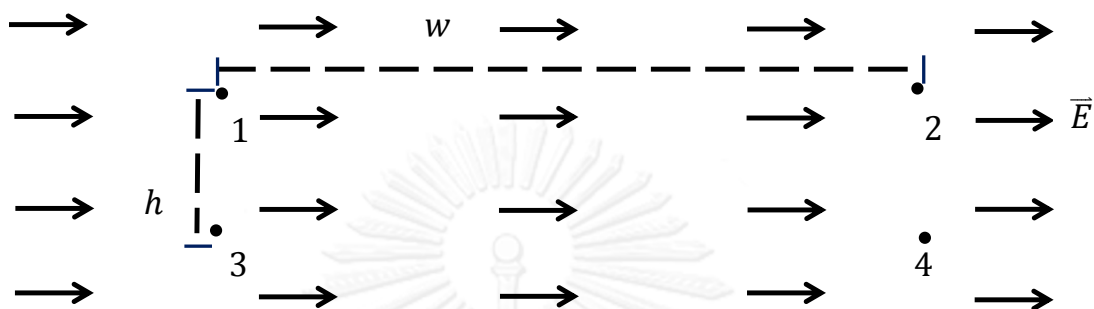
ข้อ 3 ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ $+4Q$ ในรูป c มีค่าเท่าใด

- | | | |
|-------------|------------|-----------------|
| (ก) $4F/3$ | (ข) $4F/9$ | (ค) $F/3$ |
| (ง) $5F/18$ | (จ) $2F/9$ | (ฉ) $F/9$ |
| (ซ) $F/36$ | (ช) $4F$ | (ณ) ไม่มีข้อถูก |

ภาคผนวก ข

กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ BEMA ข้อ 14 – 16 ในหัวข้อศักย์ไฟฟ้า

ในบริเวณซึ่งมีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด \vec{E} ดังรูป



ข้อ 14-16 จงเลือกคำตอบจากค่าที่กำหนดให้ข้างล่างนี้

(ก) $+Ew$

(จ) $+E\sqrt{h^2 + w^2}$

(ข) $-Ew$

(ฉ) $-E\sqrt{h^2 + w^2}$

(ค) $+Eh$

(ช) ศูนย์

(ง) $-Eh$

ข้อ 14 ความต่างศักย์ $V_2 - V_1$ มีค่าเท่าใด

ข้อ 15 ความต่างศักย์ $V_3 - V_1$ มีค่าเท่าใด

ข้อ 16 ความต่างศักย์ $V_4 - V_1$ มีค่าเท่าใด

ภาคผนวก ค

กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ CSEM ข้อ 1-2 ในหัวข้อการกระจายตัวของประจุในตัวนำและฉนวน

ข้อ 1 **โลหะ**ทรงกลมกลวงอันหนึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุส่วนเกินอยู่) ถ้านำประจุลบจำนวนหนึ่งไปวางไว้ที่จุด P บนผิวทรงกลมนี้ เมื่อเราตรวจหาประจุลบที่เกินมาเหล่านี้ใน 2-3 วินาทีต่อมา ข้อใดต่อไปนี้เป็นไปได้

- (ก) ประจุลบส่วนเกินทั้งหมดยังคงอยู่บริเวณรอบ ๆ จุด P
- (ข) ประจุลบส่วนเกินเหล่านี้จะกระจายอยู่บนผิวด้านนอกของทรงกลมอย่างสม่ำเสมอ
- (ค) ประจุลบส่วนเกินเหล่านี้จะกระจายอยู่บนผิวด้านในและด้านนอกของทรงกลมอย่างสม่ำเสมอ
- (ง) ประจุส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ที่จุด P มีเพียงบางส่วนที่กระจายอยู่ทั่วทรงกลม
- (จ) ไม่มีประจุลบส่วนเกินเหลืออยู่บนทรงกลมเลย

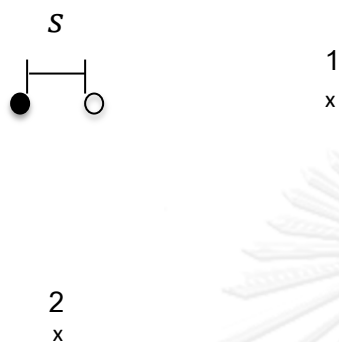
ข้อ 2 **ฉนวน**ทรงกลมกลวงอันหนึ่ง (ไม่มีประจุส่วนเกิน) ถ้านำประจุลบจำนวนหนึ่งไปวางไว้ที่จุด P ซึ่งอยู่บนผิวด้านนอกของทรงกลมนี้ เมื่อเราตรวจหาประจุที่เกินมาเหล่านี้ ในเวลา 2-3 วินาทีต่อมา ข้อใดต่อไปนี้เป็นไปได้

- (ก) ประจุลบส่วนเกินทั้งหมดยังคงอยู่บริเวณรอบ ๆ จุด P
- (ข) ประจุลบส่วนเกินเหล่านี้จะกระจายอยู่บนผิวด้านนอกของทรงกลมอย่างสม่ำเสมอ
- (ค) ประจุลบส่วนเกินเหล่านี้จะกระจายอยู่บนผิวด้านในและด้านนอกของทรงกลมอย่างสม่ำเสมอ
- (ง) ประจุส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ที่จุด P มีเพียงบางส่วนที่กระจายอยู่ทั่วทรงกลม
- (จ) ไม่มีประจุลบส่วนเกินเหลืออยู่บนทรงกลมเลย

ภาคผนวก ง

กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ BEMA ข้อ 4-6 ในหัวข้อสมบัติของสนามไฟฟ้า

ประจุสองตัวขนาดเท่ากันแต่ชนิดตรงกันข้าม และอยู่ห่างกันเป็นระยะ S ดังรูป



จงตอบคำถามข้อ 4 และ 5 โดยเลือกคำตอบจากทิศทางที่กำหนดให้ข้างล่างนี้



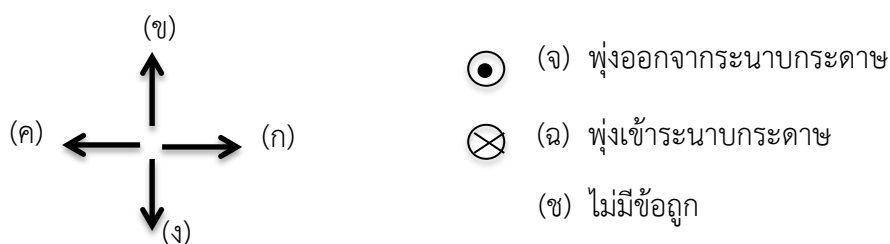
ข้อ 4 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 1 อยู่ในทิศใด

ข้อ 5 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 2 อยู่ในทิศใด

อิเล็กตรอนประจุ $-e$ เคลื่อนที่ตามเส้นทางดังรูป และผ่านเข้าไปในบริเวณสีเทา ซึ่งมีสนามไฟฟ้าโดยไม่มีประจุใดๆ อยู่ในบริเวณดังกล่าวเลย และสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์นอกบริเวณสีเทา



จงเลือกคำตอบจากทิศทางที่กำหนดให้ข้างล่างนี้



ข้อ 6 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในบริเวณสีเทาสนามไม่เป็นศูนย์ อยู่ในทิศใด

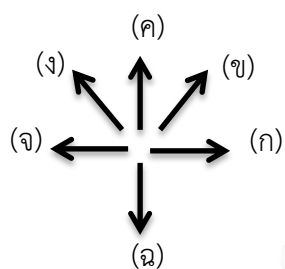
ภาคผนวก จ

กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ BEMA ข้อ 21 และข้อ 22 ในหัวข้อเส้นแรงแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากแท่งแม่เหล็กที่ตำแหน่งหนึ่งมีทิศทางดังแสดงรูป



จงเลือกคำตอบจากทิศทางที่กำหนดให้ข้างล่างนี้



- (ข) พุ่งออกจากระนาบกระดาศ
- (ข) พุ่งเข้าระนาบกระดาศ
- (ณ) แรงขนาดเป็นศูนย์
- (ญ) ไม่มีข้อถูก

ข้อ 21 ทิศทางของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแท่งแม่เหล็กนี้ ที่ตำแหน่ง 1 อยู่ในทิศใด

ข้อ 22 ทิศทางของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแท่งแม่เหล็กนี้ ที่ตำแหน่ง 2 อยู่ในทิศใด

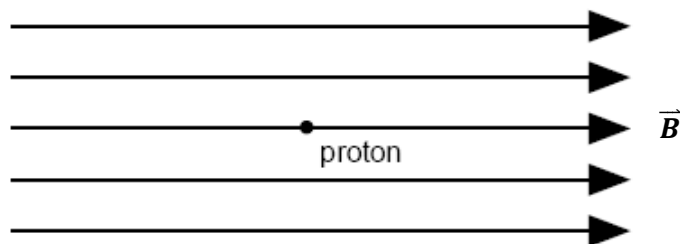
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ฉ

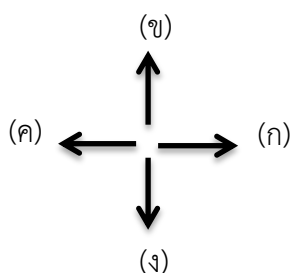
กลุ่มคำถามจากแบบทดสอบ BEMA ข้อ 20 และข้อ 23 ในหัวข้อแรงแม่เหล็ก

ที่กระทำบนประจุ

โปรตอนเดิมอยู่นิ่งในบริเวณซึ่งมีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตั้งรูป โดยไม่มีประจุอื่นใดในบริเวณดังกล่าว



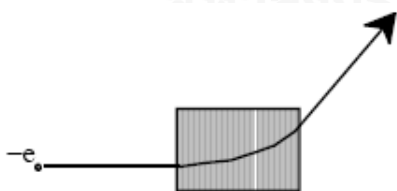
จงเลือกคำตอบจากทิศทางที่กำหนดให้ข้างล่างนี้



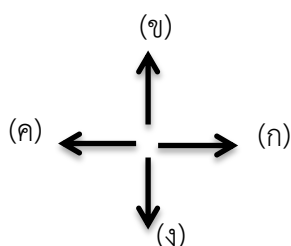
- (จ) พุ่งออกจากระนาบกระดาษ
- (ฉ) พุ่งเข้าระนาบกระดาษ
- (ช) แรงขนาดเป็นศูนย์
- (ซ) ไม่มีข้อถูก

ข้อ 20 ทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อโปรตอนที่ตำแหน่งเริ่มต้น อยู่ในทิศใด

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ตามเส้นทางดังรูป และผ่านเข้าไปในบริเวณสี่เหลี่ยมซึ่งมีสนามแม่เหล็กโดยไม่มีประจุใด ๆ อยู่ในบริเวณดังกล่าวเลย และสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์นอกบริเวณสี่เหลี่ยม



จงเลือกคำตอบจากทิศทางที่กำหนดให้ข้างล่างนี้



- (จ) พุ่งออกจากระนาบกระดาษ
- (ฉ) พุ่งเข้าระนาบกระดาษ
- (ช) ไม่มีข้อถูก

ข้อ 23 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เป็นไปได้ในบริเวณสี่เหลี่ยมที่สนามไม่เป็นศูนย์ อยู่ในทิศใด

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงโมเดลกายภาพที่สอดคล้องกับตัวเลือกของคำถาม

แบบทดสอบ	หัวข้อ	คำถาม	M ₁	M ₂	M ₃
BEMA	กฎคูลอมบ์	ข้อ 1	ก	จ,ฉ	ข,ค,ง,ช
		ข้อ 2	ก	จ,ฉ	ข,ค,ง,ช
		ข้อ 3	ข	ก,ค,จ	ง,ฉ,ช,ฅ,ณ
	สมบัติของสนามไฟฟ้า	ข้อ 4	จ	ก,ข,ค,ง,ฉ,ณ	ช,ฅ,ญ
		ข้อ 5	ก	ข,ค,ง,จ,ฉ,ณ	ช,ฅ,ญ
		ข้อ 6	ง	ข,จ,ฉ	ก,ค,ช
	ศักย์ไฟฟ้า	ข้อ 14	ข	ก	ค,ง,จ,ฉ,ช
		ข้อ 15	ช	ค,ง	ก,ข,จ,ฉ
		ข้อ 16	ข	ก,จ,ฉ	ค,ง,ช
	เส้นแรงแม่เหล็ก	ข้อ 21	ก	ข,ค,ง,จ,ฉ,ณ	ช,ฅ,ญ
		ข้อ 22	จ	ก,ข,ค,ง,ฉ,ณ	ช,ฅ,ญ
	แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุ	ข้อ 20	ช	ก,ค,จ,ฉ	ข,ง,ช
ข้อ 23		จ	ข,ง,ฉ	ก,ค,ช	
CSEM	การกระจายตัวของประจุ ในตัวนำและฉนวน	ข้อ 1	ข	ก,ค,ง	จ
		ข้อ 2	ก	ข,ค,ง	จ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุนทร พิมเสน เกิดวันที่ 10 เมษายน 2529 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช จบการศึกษา
ระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนท่าศาลา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนท่าศาลา
ประสิทธิ์ศึกษา จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY