

การพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบสอบวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา
เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ด้วยโมเดลจีไดนา
Development and Validation of Cognitive Diagnostic Test
on pH of Acid-Base Solution using G-DINA Model

ชยุตม์ มุทวงศ์¹ และ ณภัทร ชัยมงคล^{2*}

Chayut Mutuwong¹ and Nhabhat Chaimongkol^{2*}

(Received: April 16, 2024; Revised: June 18, 2024; Accepted: June 25, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบสอบวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ด้วยโมเดลจีไดนา (G-DINA) ซึ่งเป็นโมเดลวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ซึ่งเป็นแบบสอบประเภทเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ แต่ละข้อจำแนกคุณลักษณะ 1 ถึง 3 คุณลักษณะ มีตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2566 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 622 คน

ผลการวิจัยพบว่า คุณลักษณะที่ใช้ในการวินิจฉัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ประกอบด้วย 3 คุณลักษณะ ได้แก่ 1) การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส 2) การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส และ 3) การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ ผลการตรวจสอบคุณภาพของเมทริกซ์คิวโดยใช้การตัดสินของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ข้อสอบทุกข้อสามารถจำแนกคุณลักษณะที่มุ่งวัดได้ตรงกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดของเมทริกซ์คิวที่สร้างขึ้น (IOC = 1.00) ผลการตรวจสอบค่าดัชนีอำนาจจำแนก พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.71 มีข้อสอบผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 21 จาก 25 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 84 ผลการวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบด้วยโมเดลจีไดนา พบว่าแบบสอบวินิจฉัยสามารถจำแนกผู้สอบเข้ากลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 93.8 และ ผลการตรวจสอบค่าความเที่ยงทั้งฉบับ ผ่านเกณฑ์ ($\rho_c = 0.88$) แสดงให้เห็นว่า แบบสอบวินิจฉัยที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบสอบที่มีคุณภาพสามารถนำไปใช้วินิจฉัยโมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบสได้

คำสำคัญ แบบสอบวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา pH ของสารละลายกรด-เบส โมเดลจีไดนา

¹ นิสิตระดับปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Master's degree student, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University

² Assistant Professor, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University

* Corresponding Author E-mail: nhabhat.c@chula.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to develop and validate a cognitive diagnostic test using the G-DINA model as a Cognitive Diagnostic Model (CDM). The research instrument was a cognitive diagnostic test in pH of acid-base solutions. The cognitive diagnostic test in this research was a 4-choice test that contained 25 questions. Each item aimed to measure one to three attributes. The sample of this research consisted of 622 grade 11 students in the academic year 2023, in schools under the Office of the Basic Education Commission (OBEC), Ministry of Education. The results of this research showed that the attributes used in diagnosing the pH of acid-base solutions consisted of 3 characteristics: 1) calculating the hydronium ion or hydroxide ion concentration of acid and base solutions, 2) calculating the pH of acid and base solutions, and 3) determining the acidity-baseness of a solution from the pH range of the indicator. The results of the Q-matrix validated by the expert judgment method revealed that all of the test items could accurately classify attributes ($IOC = 1.00$). The results of the discriminant index ($r = 0.19$ to 0.71) showed that 21 out of 25 questions with discriminant index passed the criteria, accounting for 84 percent. The result of the diagnostic analysis obtained by using the G-DINA Model indicated that the diagnostic test was able to classify test takers with 93.8% accuracy. The results of the reliability passed the criteria ($\rho_c = 0.88$). Therefore, the diagnostic test was a quality test that can be used to diagnose the concept of pH of acid-base solutions.

Keywords: cognitive diagnostic test, pH of acid-base solution, G-DINA Model

บทนำ

ความเข้าใจในทศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เนื่องจากบทเรียนวิทยาศาสตร์บางเรื่องยากต่อการทำความเข้าใจ หรือมีโอกาสทำให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ ด้วยเหตุนี้ นักการศึกษาจึงมีการใช้การประเมินวินิจฉัย (diagnostic assessment) หลากหลายประเภท เพื่อวัดและระบุในทศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน เช่น การสัมภาษณ์ การใช้คำถามปลายเปิด แบบสอบปรนัยแบบเลือกตอบ และแบบสอบวินิจฉัย เป็นต้น (Soeharto et al., 2019)

วิธีที่ใช้ในการประเมินวินิจฉัยในทศน์ของผู้เรียนมีหลายวิธี วิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือการใช้แบบสอบวินิจฉัยเป็นเครื่องมือวินิจฉัยในทศน์ที่ผู้เรียนมีความรอบรู้ (mastery) หรือไม่รอบรู้ (non-mastery) ซึ่งแบบสอบวินิจฉัยสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) แบบสอบวินิจฉัยแบบเลือกตอบพหุระดับ (multi-tier diagnostic test) และ 2) แบบสอบวินิจฉัยที่ประยุกต์ใช้โมเดลการวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา (Cognitive Diagnostic Model: CDM) อย่างไรก็ตาม แบบสอบวินิจฉัยแบบเลือกตอบพหุระดับ มีข้อจำกัด

ในเรื่องความยาวของแบบสอบ และเวลาในการทำข้อสอบ กล่าวคือ ข้อสอบ 1 ข้อใหญ่ประกอบด้วยข้อคำถามย่อย ๆ หลายข้อ จึงต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก ส่งผลให้ผู้สอบเกิดความเหนื่อยล้า และอาจไม่ตั้งใจทำข้อสอบได้ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำโมเดลวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามาประยุกต์ใช้กับแบบสอบวินิจฉัย เนื่องจากสามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางจิตมิติกับคุณลักษณะของแบบสอบวินิจฉัยที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้องแม่นยำ (de la Torre, 2011; de la Torre & Chiu, 2016; Ma & de la Torre, 2019; Soeharto et al., 2019)

นักวิจัยได้พัฒนาโมเดลวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาไว้หลากหลาย เช่น ไดนา (DINA), ไดโน (DINO), ไนดา (NIDA) และ จีไดนา (G-DINA) เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดและความซับซ้อนในแต่ละโมเดล ปัจจุบันจึงมีเพียงโมเดลไดนาและจีไดนาที่นิยมนำมาใช้จำแนกคุณลักษณะของผู้สอบ เนื่องจากมีกระบวนการไม่ซับซ้อน (Nájera et al., 2019) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจุดเด่นของโมเดลไดนาและจีไดนา พบว่าโมเดลไดนาเป็นโมเดลที่ไม่มีการชดเชย (non-compensatory model) จึงไม่ยืดหยุ่น สามารถจำแนกคุณลักษณะได้เพียงจุดแข็งหรือจุดที่ควรปรับปรุง แต่ไม่สามารถระบุว่าคุณลักษณะด้านใดมากกว่ากัน ในขณะที่โมเดลจีไดนาเป็นโมเดลที่มีลักษณะชดเชย (compensatory model) มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ มีประสิทธิภาพ สามารถจำแนกคุณลักษณะ (attribute) ที่เป็นจุดแข็งหรือจุดที่ควรปรับปรุง รวมทั้งระบุได้ว่าผู้สอบแต่ละคนมีคุณลักษณะด้านใดมากกว่ากัน จึงมีความน่าเชื่อถือสูง ส่งผลให้โมเดลจีไดนามีความเหมาะสมกับการวินิจฉัยกลุ่มผู้สอบที่มีความสามารถหลากหลายมากกว่า ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้โมเดลจีไดนาเป็นโมเดลในการวินิจฉัย (Oguz Basokcu et al., 2013; de la Torre, 2011; Ma & de la Torre, 2019; Ma & de la Torre, 2020)

โมเดลการวินิจฉัยทางพุทธิปัญญามีการนำมาใช้ในการวินิจฉัยผู้เรียนในหลายรายวิชา ซึ่งรายวิชาเคมีถือเป็นอีกวิชาหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ เช่น การประยุกต์ใช้โมเดลจีไดนาเป็นโมเดลการวินิจฉัยในเรื่องโมเลกุลโคเวเลนต์ เนื่องจากในรายวิชาเคมีผู้เรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก โดยคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเรียนเคมีจำนวนมากมักไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นเรื่องนามธรรม ใช้ภาษาสัญลักษณ์ในการอธิบาย เช่น สูตร สัญลักษณ์ และ สมการเคมี ทำให้ผู้เรียนแต่ละคนมีความสามารถในการทำความเข้าใจแตกต่างกัน ในขณะที่การตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของผู้เรียน ผู้สอนส่วนใหญ่ นิยมใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทำให้การวัดคุณลักษณะไม่เป็นไปตามลำดับขั้นของการเรียนรู้ ด้วยเหตุนี้การนำโมเดลวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาที่เน้นการพัฒนาแบบสอบเพื่อวัดคุณลักษณะที่มีความเจาะจงในแต่ละเนื้อหาและมีความสัมพันธ์กับลำดับขั้นการเรียนรู้ จึงมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงกว่า (Chaimongkol et al., 2020)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโมโนทศน์ที่คลาดเคลื่อนในรายวิชาเคมี พบว่า เนื้อหาเรื่อง กรด-เบส ในประเด็น pH ของสารละลายกรด-เบส เป็นหนึ่งในโมโนทศน์ที่ผู้เรียนมักมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (Hoe & Subramaniam, 2016; Mubarakah et al., 2018; Susilaningsih et al., 2020) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบสอบวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา ด้วยโมเดลจีไดนา เพื่อนำแบบสอบที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวินิจฉัยผู้เรียนว่ามีความรอบรู้เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส โมโนทศน์ใด หรือมีโมโนทศน์ใดยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน และเป็นจุดที่ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น อันจะนำไปสู่การออกแบบการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรอบรู้โมโนทศน์ดังกล่าวอย่างถูกต้องและครบถ้วนต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบสอบถามวินิจฉัยทางพุทธิปัญญาด้วยโมเดลจีไดนา (G-DINA)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2566 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 356,706 คน (Office of Basic Education Policy and Planning, 2023)

ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2566 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ โดยตัวอย่างวิจัยผ่านการคัดเลือกแบบโควตา (quota sampling) จากทั้งหมด 4 ภาค ภาคละ 2 จังหวัด จังหวัดละ 2 โรงเรียน แต่ละภาคมีจำนวนตัวอย่างวิจัยรวมกันไม่น้อยกว่า 150 คน แบ่งเป็น จำนวนตัวอย่างวิจัยจากภาคเหนือ 151 คน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 161 คน ภาคกลาง 152 คน และภาคใต้ 158 คน จำนวนตัวอย่างวิจัยทั้งหมด 622 คน ประกอบไปด้วยนักเรียนกลุ่มเก่ง กลาง และอ่อน ซึ่งจำนวนตัวอย่างวิจัยครั้งนี้มากกว่าจำนวนตัวอย่างวิจัยขั้นต่ำ 500 คน เพื่อให้ตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำตามที่ Nájera et al. (2019) กำหนดไว้

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามวินิจฉัยทางพุทธิปัญญา เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส เป็นแบบสอบถามประเภทเลือกตอบอย่างง่าย มีจำนวนข้อสอบ 25 ข้อ กำหนดระยะเวลาในการทำข้อสอบ 40 นาที ข้อสอบแต่ละข้อมี 4 ตัวเลือก ได้แก่ ตัวเลือกถูก จำนวน 1 ตัวเลือก ซึ่งพัฒนามาจากมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับ pH ของสารละลายกรด-เบส และตัวลวง จำนวน 3 ตัวเลือก ที่พัฒนามาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังภาพ 1 โดยแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นมุ่งจำแนกคุณลักษณะ (attribute) ทั้งหมด 3 คุณลักษณะ ได้แก่ 1) การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส 2) การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส และ 3) การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ โดยข้อสอบแต่ละข้อจำแนกคุณลักษณะ 1 ถึง 3 คุณลักษณะตามรูปแบบเมทริกซ์คิว (Q-Matrix) ของแบบสอบถามวินิจฉัยมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส โดยที่ค่า 1 หมายถึง ข้อสอบต้องการจำแนกความรู้ในคุณลักษณะดังกล่าว ในการตอบข้อสอบข้อนั้น ในขณะที่ค่า 0 หมายถึง ข้อสอบไม่ต้องการจำแนกความรู้ในคุณลักษณะดังกล่าว ในการตอบข้อสอบข้อนั้น ในเมทริกซ์คิวประกอบไปด้วยเวกเตอร์คิวซึ่งเป็นเวกเตอร์ของข้อสอบแต่ละข้อที่แสดงถึงคุณลักษณะที่มุ่งวัด เช่น เวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อ 1 คือ {100} เป็นข้อสอบที่มุ่งวัด 1 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 เวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อ 14 คือ {110} เป็นข้อสอบที่มุ่งวัด 2 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 และ 2 เวกเตอร์คิวของข้อสอบข้อ 25 คือ {111} เป็นข้อสอบที่มุ่งวัด 3 คุณลักษณะ ได้แก่ คุณลักษณะที่ 1 2 และ 3 เป็นต้น เมทริกซ์คิวของแบบสอบถามวินิจฉัยมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส แสดงดังตาราง 1

16. นำสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LiOH) 0.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะมีค่าความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และค่า pH เป็นเท่าใด

ตัวเลือก	[OH ⁻] โมลต่อลิตร	pH
ก.	0.5	0.3
ข.	0.5	13.7
ค.	0.05	1.3
ง.	0.05	12.7

24. เมื่อเติมโบรโมฟีนอลบลู (bromophenol blue) ลงในสารละลายกรดแอซีติก (CH_3COOH) เข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร จะได้สารละลายสีอะไร

กำหนดให้ โปรโมฟินอลบลูมีช่วงการเปลี่ยนสีระหว่างสีเหลือง-สีน้ำเงิน ที่ pH 3.0-4.6

K_a ของ CH_3COOH เท่ากับ 1.80×10^{-5}

ก. ไม่มีสี

ข. สี่เหลี่ยม

ค. สีเขียว

ง. สิ้นน้ำเงิน

ภาพ 1 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 1 เมทริกซ์คิวของแบบสอวินิจัยมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส

ข้อ	คุณลักษณะที่มุ่งวัด			ข้อ	คุณลักษณะที่มุ่งวัด		
	1	2	3		1	2	3
1	1	0	0	13	0	1	0
2	1	0	0	14	1	1	0
3	1	0	0	15	1	1	0
4	1	0	0	16	1	1	0
5	1	0	0	17	0	0	1
6	1	0	0	18	0	0	1
7	1	0	0	19	0	0	1
8	0	1	0	20	0	0	1
9	0	1	0	21	0	0	1
10	0	1	0	22	0	0	1
11	0	1	0	23	0	1	1
12	0	1	0	24	1	1	1
				25	1	1	1

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.1 สร้างเมทริกซ์คิว โดยกำหนดให้ข้อสอบแต่ละข้อครอบคลุมและวัดคุณลักษณะในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) มีจำนวนข้อสอบ 25 ข้อ

3.2 สร้างแบบสอบวินิจัยซึ่งเป็นแบบสอบประเภทเลือกตอบ จำนวน 25 ข้อ โดยข้อสอบแต่ละข้อ มีคุณลักษณะที่มุ่งวัดตามเมทริกซ์คิวที่สร้างขึ้น

3.3 นำแบบสอบวินิจัยที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความสอดคล้องกันระหว่างข้อสอบกับเมทริกซ์คิวของแบบสอบวินิจัยโดยใช้การตัดสินของผู้เชี่ยวชาญ (expert judgement) ทั้งหมด 5 ท่าน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ คือ 1) สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากคณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ วิชาเอกเคมี และมีประสบการณ์ในการสอนเคมีในสถานศึกษาไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 2 ท่าน 2) สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากคณะวิทยาศาสตร์ วิชาเอกเคมี จำนวน 1 ท่าน และ 3) สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโทขึ้นไป สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา จำนวน 2 ท่าน

3.4 นำแบบสอบที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพไปใช้กับตัวอย่างวิจัย จำนวน 622 คน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การตรวจสอบความสอดคล้องกันระหว่างข้อสอบกับเมทริกซ์คิวของแบบสอบวินิจัยโดยใช้การตัดสินของผู้เชี่ยวชาญด้วยค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละข้อ (Item Objective Congruence: IOC) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาค่า IOC ตามที่ Kanjanawasee (2013) ระบุคือ

$IOC \geq 0.5$ แสดงว่า ข้อสอบข้อนั้นมุ่งวัดคุณลักษณะได้ตรงตามที่กำหนดไว้ในเมทริกซ์คิว

$IOC < 0.5$ แสดงว่า ข้อสอบข้อนั้นไม่ได้มุ่งวัดคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้ในเมทริกซ์คิว

4.2 การตรวจสอบค่าดัชนีอำนาจจำแนก (Item Discriminant Index: IDI) ของข้อสอบแต่ละข้อ โดยใช้ GDINA graphical user interface (GUI) ผ่าน Posit Cloud (de la Torre & Akbay, 2019; Ma & de la Torre, 2020) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าดัชนีอำนาจจำแนกตามที่ Nájera et al. (2019) ระบุการแปลผลค่าดัชนีอำนาจจำแนกไว้ดังตาราง 2

ตาราง 2 การแปลผลค่าดัชนีอำนาจจำแนก

ค่าดัชนีอำนาจจำแนก	การแปลผล
0.800 ขึ้นไป	อำนาจจำแนกสูง
0.600 – 0.799	อำนาจจำแนกปานกลาง
0.400 – 0.599	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้
ต่ำกว่า 0.400	อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้ง

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ด้วยโมเดล จีไคโนนา โดยใช้ GDINA graphical user interface (GUI) ผ่าน Posit Cloud (de la Torre & Akbay, 2019; Ma & de la Torre, 2020) ได้แก่ 1) ค่าคะแนนของแบบสอบวินิจัย 2) ค่าพารามิเตอร์การเดา (guessing: g_j)

และพารามิเตอร์ความสะเพร่า (slip: s_j) 3) ความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบแต่ละข้อได้อย่างถูกต้อง 4) ความน่าจะเป็นในการจัดเข้ากลุ่ม (class probability) 5) สัดส่วนของตัวอย่างวิจัยที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ เป็นจุดแข็งในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส 6) ความถูกต้องในการจำแนก (classification accuracy) และ 7) รายงานผลการวินิจฉัยมีโนทัศน์

4.4 การตรวจสอบค่าความเที่ยงทั้งฉบับของแบบสอบวินิจฉัย (reliability) ด้วยค่าความเที่ยงในการจำแนก (classification consistency) หรือค่า ρ_c โดยใช้ฟังก์ชัน `CDM::cdm.est.class.accuracy()` ใน CDM package (Shi Q. et al., 2021) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาตามที่ Taber (2018) ระบุคือมีค่าความเที่ยงมากกว่า 0.80 สำหรับเครื่องมือวิจัยด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบความมุ่งหมายของการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องกันระหว่างข้อสอบกับเมทริกซ์คิวของแบบสอบวินิจฉัยโดยใช้การตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญด้วยค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดในแต่ละข้อ พบว่าข้อสอบทุกข้อ มีค่าดัชนี IOC เท่ากับ 1.00 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์ตามที่ Kanjanawasee (2013) ระบุคือค่าดัชนี IOC ≥ 0.5 จึงสรุปได้ว่า ข้อสอบทุกข้อสามารถจำแนกคุณลักษณะที่มุ่งวัดได้ตรงกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดของเมทริกซ์คิวที่สร้างขึ้น

ผลการตรวจสอบค่าดัชนีอำนาจจำแนกของข้อสอบแต่ละข้อ พบว่า ข้อสอบแต่ละข้อมีค่าดัชนีอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.71 ซึ่งประกอบด้วยข้อสอบที่มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกระดับปานกลางทั้งหมด 9 ข้อ ได้แก่ข้อ 14, 15, 16, 19, 21, 22, 23, 24 และ 25 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.71, 0.63, 0.61, 0.61, 0.60, 0.67, 0.61, 0.70 และ 0.62 ตามลำดับ รวมทั้งข้อสอบที่มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้ มีทั้งหมด 12 ข้อ ได้แก่ข้อ 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18 และ 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.54, 0.43, 0.58, 0.46, 0.51, 0.49, 0.53, 0.53, 0.58, 0.54, 0.45 และ 0.58 ตามลำดับ และมีข้อสอบที่อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้งทั้งหมด 4 ข้อ ได้แก่ข้อ 3, 4, 5 และ 8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.19, 0.39, 0.32 และ 0.27 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า แบบสอบวินิจฉัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส มีข้อสอบที่มีอำนาจจำแนกผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ข้อ 21 จาก 25 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 84 โดยมีรายละเอียดดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าดัชนีอำนาจจำแนกของแบบสอบวินิจฉัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส

ข้อ	ค่าดัชนีอำนาจจำแนก	การแปลผล	ข้อ	ค่าดัชนีอำนาจจำแนก	การแปลผล
1	0.54	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	13	0.58	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้
2	0.43	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	14	0.71	อำนาจจำแนกปานกลาง
3	0.19	อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้ง	15	0.63	อำนาจจำแนกปานกลาง
4	0.39	อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้ง	16	0.61	อำนาจจำแนกปานกลาง
5	0.32	อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้ง	17	0.54	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

ข้อ	ค่าดัชนีอำนาจจำแนก	การแปลผล	ข้อ	ค่าดัชนีอำนาจจำแนก	การแปลผล
6	0.58	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	18	0.45	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้
7	0.46	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	19	0.61	อำนาจจำแนกปานกลาง
8	0.27	อำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้ง	20	0.58	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้
9	0.51	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	21	0.60	อำนาจจำแนกปานกลาง
10	0.49	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	22	0.67	อำนาจจำแนกปานกลาง
11	0.53	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	23	0.61	อำนาจจำแนกปานกลาง
12	0.53	อำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้	24	0.70	อำนาจจำแนกปานกลาง
			25	0.62	อำนาจจำแนกปานกลาง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบบินิจัยมีนัยสำคัญ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ด้วยโมเดลจีไดนา มีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนของแบบสอบบินิจัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส พบว่า คะแนนเฉลี่ย (*M*) ของแบบสอบบินิจัย เท่ากับ 14.07 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) เท่ากับ 6.70 โดยคะแนนสูงสุด (*max*) เท่ากับ 25 คะแนน และคะแนนต่ำสุด (*min*) เท่ากับ 1 คะแนน และมีจำนวนตัวอย่างวิจัยที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำร้อยละ 50 ของคะแนนสอบบินิจัยทั้งหมดหรือ 13 คะแนน จากทั้งหมด 25 คะแนน อยู่ 337 คน ในขณะที่ตัวอย่างวิจัยที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 285 คน รายละเอียดแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนของแบบสอบบินิจัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส

<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	จำนวนตัวอย่างวิจัยที่คะแนน	
				ผ่านเกณฑ์ (คน)	ไม่ผ่านเกณฑ์ (คน)
14.07	6.70	25	1	337	285

2) ค่าพารามิเตอร์การเดา (*guessing: g_j*) และพารามิเตอร์ความสะเพร่า (*slip: s_j*) ของแบบสอบบินิจัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส อยู่ในช่วง 0.206-0.541 และ 0.000-0.485 ตามลำดับ ดังตาราง 5 โดยค่าพารามิเตอร์ทั้งสองค่าจะแสดงอยู่ในรูปของความน่าจะเป็น เช่น ข้อ 2 ผู้สอบที่มีจำนวนคุณลักษณะไม่เพียงพอต่อการตอบข้อสอบจะมีโอกาสเดาข้อสอบได้ถูกต้องร้อยละ 52.5 ในขณะที่ผู้สอบที่มีจำนวนคุณลักษณะครบตามที่ข้อสอบข้อ 2 ต้องการ จะมีโอกาสในการตอบข้อสอบไม่ถูกต้องร้อยละ 4.6 ซึ่งข้อสอบที่ผู้สอบขาดคุณลักษณะในการตอบข้อสอบ แต่มีโอกาสดตอบได้ถูกต้องสูงที่สุด คือ ข้อ 18 ที่โอกาสการเดาได้ถูกต้องสูงถึงร้อยละ 54.1 ในขณะที่ข้อสอบที่ผู้สอบมีทุกคุณลักษณะเป็นจุดแข็งตามที่ข้อสอบต้องการ แต่มีโอกาสดตอบผิดสูงสุด คือ ข้อ 8 ที่มีโอกาสสะเพร่าสูงถึงร้อยละ 48.5

ตาราง 5 ค่าพารามิเตอร์การเดาและความสับสนของข้อสอบแต่ละข้อในแบบสอบฯ

ข้อ	การเดา (g_j)	ความสับสน (s_j)	ข้อ	การเดา (g_j)	ความสับสน (s_j)
1	0.206	0.253	13	0.278	0.139
2	0.525	0.046	14	0.249	0.040
3	0.419	0.388	15	0.290	0.080
4	0.228	0.379	16	0.305	0.088
5	0.219	0.460	17	0.458	0.000
6	0.340	0.081	18	0.541	0.004
7	0.329	0.216	19	0.383	0.005
8	0.248	0.485	20	0.394	0.026
9	0.492	0.000	21	0.401	0.000
10	0.491	0.018	22	0.294	0.038
11	0.288	0.185	23	0.272	0.118
12	0.346	0.128	24	0.253	0.047
			25	0.245	0.133

3) ความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบแต่ละข้อได้อย่างถูกต้อง เมื่อพิจารณาโอกาสในการตอบข้อสอบถูกของผู้สอบที่มีจำนวนคุณลักษณะที่เป็นจุดแข็งในข้อสอบแต่ละข้อของแบบสอบวินิจฉัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส พบว่าเป็นดังตาราง 6 เมื่อคุณลักษณะที่มุ่งวัด หมายถึง คุณลักษณะที่ข้อสอบข้อดังกล่าวมุ่งวัดและผู้สอบจำเป็นต้องมีคุณลักษณะดังกล่าวเป็นจุดแข็งจึงจะสามารถตอบข้อสอบข้อนั้นได้ถูกต้อง โดย 1 หมายถึง การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส 2 หมายถึง การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส และ 3 หมายถึง การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ ส่วนรูปแบบความรอบรู้ หมายถึง รูปแบบจุดแข็งในคุณลักษณะที่ผู้สอบมีในการตอบข้อสอบดังกล่าว โดย 1 หมายถึง มีคุณลักษณะดังกล่าวเป็นจุดแข็ง และ 0 หมายถึง มีคุณลักษณะดังกล่าวเป็นจุดที่ควรปรับปรุง และความน่าจะเป็น หมายถึง โอกาสที่ผู้สอบสามารถตอบข้อสอบข้อดังกล่าวได้ถูกต้องเมื่อผู้สอบมีรูปแบบคุณลักษณะที่เป็นจุดแข็งตามที่กำหนดไว้ เช่น ข้อ 1 ต้องการคุณลักษณะที่ 1 เพื่อตอบข้อสอบได้อย่างถูกต้อง ผู้สอบที่มีคุณลักษณะที่ 1 เป็นจุดที่ควรปรับปรุง (0) จะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบได้อย่างถูกต้องเท่ากับ 0.206 แสดงว่า ผู้สอบที่มีจุดที่ควรปรับปรุงในคุณลักษณะที่ 1 มีโอกาสเดาข้อ 1 ได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 20.6 ขณะที่ผู้สอบที่มีคุณลักษณะที่ 1 เป็นจุดแข็ง (1) จะมีความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบได้อย่างถูกต้องเท่ากับ 0.747 แสดงว่าผู้สอบที่มีคุณลักษณะที่ 1 เป็นจุดแข็ง มีโอกาสตอบข้อ 1 ได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 74.7

ตาราง 6 ความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบแต่ละข้อได้อย่างถูกต้อง

ข้อ	คุณลักษณะ ที่มุ่งวัด	รูปแบบ ความรอบรู้	ความน่าจะเป็น	ข้อ	คุณลักษณะ ที่มุ่งวัด	รูปแบบ ความรอบรู้	ความน่าจะเป็น
1	1	0	0.206	16	1 และ 2	00	0.305
		1	0.747			10	0.291
2	1	0	0.525			01	0.430
		1	0.954			11	0.912
3	1	0	0.419	17	3	0	0.458
		1	0.612			1	1.000
4	1	0	0.228	18	3	0	0.541
		1	0.621			1	0.996
5	1	0	0.218	19	3	0	0.383
		1	0.540			1	0.994
6	1	0	0.340	20	3	0	0.394
		1	0.919			1	0.974
7	1	0	0.329	21	3	0	0.401
		1	0.784			1	1.000
8	2	0	0.248	22	3	0	0.294
		1	0.514			1	0.962
9	2	0	0.492	23	2 และ 3	00	0.272
		1	1.000			10	0.732
10	2	0	0.490			01	0.436
		1	0.982			11	0.882
11	2	0	0.288	24	1, 2 และ 3	000	0.253
		1	0.815			100	0.583
12	2	0	0.346			010	0.992
		1	0.872			001	0.000
13	2	0	0.278			110	0.154
		1	0.860			101	0.654
14	1 และ 2	00	0.248			011	0.388
		10	0.507			111	0.953
		01	0.822	25	1, 2 และ 3	000	0.245
		11	0.960			100	0.387
15	1 และ 2	00	0.289			010	0.000
		10	0.472			001	0.000
		01	0.000			110	0.009
		11	0.920			101	0.309
						011	0.254
						111	0.867

4) ความน่าจะเป็นในการจัดเข้ากลุ่ม (class probability) ของผู้สอบที่ทำแบบสอบวินิจฉัย เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่ม (class) ทั้งหมด 8 กลุ่ม ตามจำนวนรูปแบบจุดแข็ง และจุดที่ควรปรับปรุงในคุณลักษณะหรือโปรไฟล์คุณลักษณะดังตาราง 7 เมื่อรูปแบบจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุงที่ผู้สอบมีโอกาสได้รับการจัดเข้ากลุ่มมากที่สุด คือ ผู้สอบที่มีทั้งสามคุณลักษณะในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส เป็นจุดที่ควรปรับปรุง (000) มีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.469 หรือคิดเป็นร้อยละ 46.9

ตาราง 7 ความน่าจะเป็นในการจัดเข้ากลุ่มของผู้สอบที่มีรูปแบบจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุงต่าง ๆ

รูปแบบจุดแข็งและ จุดที่ควรปรับปรุง	000	100	010	001	110	101	011	111
ความน่าจะเป็น	0.469	0.080	0.004	0.015	0.043	0.027	0.017	0.345

5) ผลการตรวจสอบสัดส่วนของกลุ่มเป้าหมายที่คุณลักษณะต่าง ๆ เป็นจุดแข็งของเนื้อหา pH ของสารละลายกรด-เบส ดังตาราง 8 ซึ่งพบว่า แบบสอบวินิจฉัยเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ผู้สอบมีคุณลักษณะที่ 1 การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส เป็นจุดแข็งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 49.5 รองลงมาคือ คุณลักษณะที่ 2 การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส คิดเป็นร้อยละ 40.9 และลำดับสุดท้าย คือ การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 40.4

ตาราง 8 สัดส่วนของตัวอย่างวิจัยที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ เป็นจุดแข็งในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส

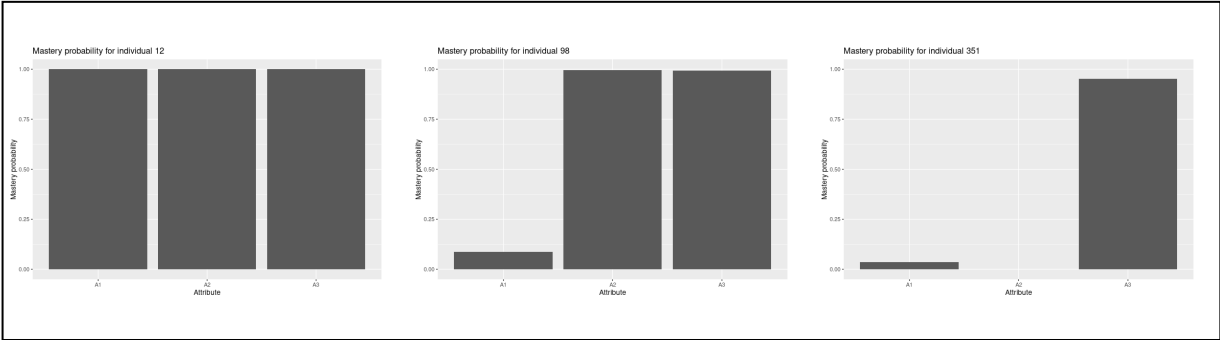
คุณลักษณะ	สัดส่วน
1) การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส	0.495
2) การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดและเบส	0.409
3) การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์	0.404

6) ความถูกต้องในการจำแนก (classification accuracy) หรือความน่าจะเป็นในการจำแนกผู้สอบเข้ากลุ่มได้ถูกต้อง มีรายละเอียดของความถูกต้องในการจำแนกดังตาราง 9 โดยแบบสอบทั้งฉบับมีความน่าจะเป็นที่จะจัดกลุ่มผู้สอบได้ถูกต้อง 0.938 กล่าวคือ แบบสอบวินิจฉัยที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกผู้สอบเข้ากลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 93.8 และเมื่อพิจารณาความถูกต้องในการจำแนกเข้ากลุ่มรายคุณลักษณะพบว่า มีค่าความน่าจะเป็นในการจำแนกผู้สอบได้ถูกต้องตามคุณลักษณะ ระหว่าง 0.938 ถึง 0.986 คิดเป็นร้อยละ 93.8 ถึง 98.6 จึงสรุปได้ว่า แบบสอบวินิจฉัย เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส มีคุณภาพที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้วินิจฉัยสมรรถนะของผู้เรียนได้

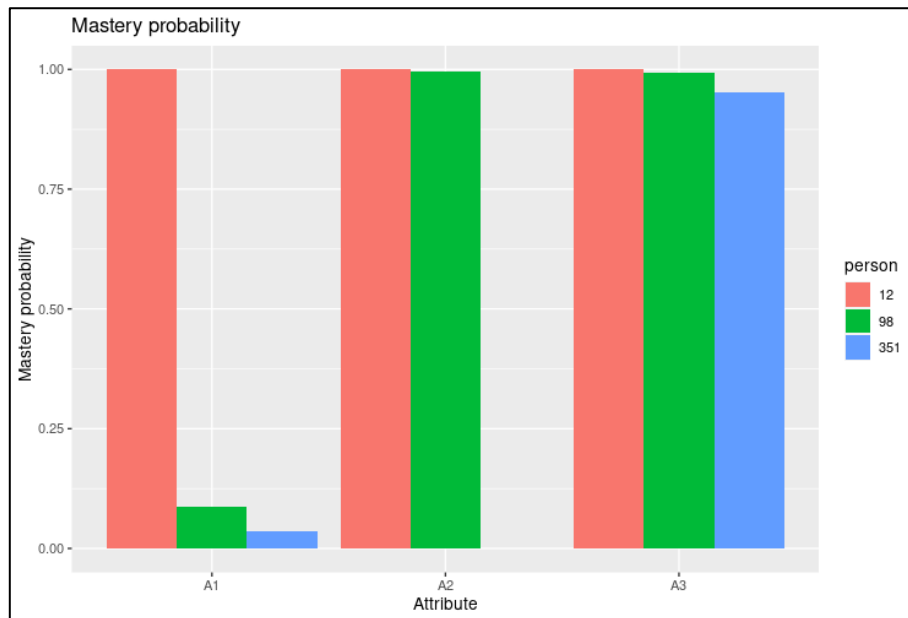
ตาราง 9 ความถูกต้องในการจำแนก

รายการ	ความน่าจะเป็นในการจำแนก
แบบสอบทั้งฉบับ	0.938
คุณลักษณะที่ 1	0.963
คุณลักษณะที่ 2	0.979
คุณลักษณะที่ 3	0.986

7) รายงานผลการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบ ในรูปแบบโปรไฟล์คุณลักษณะ ที่แสดงให้เห็นถึงความรอบรู้ที่เป็นจุดแข็ง หรือความไม่รอบรู้ที่เป็นจุดที่ควรปรับปรุงในคุณลักษณะแต่ละข้อ ที่ทำการวัด โดยนำเสนอเป็นกราฟแผนภูมิแนวนั่งแสดงความน่าจะเป็นของจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุง ในแต่ละคุณลักษณะ หากตัวอย่างวิจัยมีความน่าจะเป็นในการรอบรู้สูงกว่า 0.5 หมายถึง ตัวอย่างวิจัย มีคุณลักษณะดังกล่าวเป็นจุดแข็ง รายละเอียดผลการวินิจฉัยสามารถนำเสนอเฉพาะผู้สอบรายบุคคล ดังภาพ 2 ซึ่งเป็นผลการวินิจฉัยของผู้เข้าสอบหมายเลข 12, 98 และ 351 ตามลำดับ พบว่า ผู้เข้าสอบหมายเลข 12 ที่มีความรอบรู้ครบทั้งสามคุณลักษณะ หรือมีทั้งสามคุณลักษณะเป็นจุดแข็ง ผู้เข้าสอบหมายเลข 98 มีคุณลักษณะที่ 2 และ 3 เป็นจุดแข็ง และมีคุณลักษณะที่ 1 เป็นจุดที่ควรปรับปรุง ส่วนผู้เข้าสอบหมายเลข 351 มีคุณลักษณะที่ 3 เป็นจุดแข็ง และมีคุณลักษณะที่ 1 และ 2 เป็นจุดที่ควรปรับปรุง นอกจากนี้ยังสามารถ เลือเปรียบเทียบผลการวินิจฉัยระหว่างผู้สอบได้ ดังภาพ 3 ซึ่งเป็นการนำเสนอผลการวินิจฉัยของผู้เข้าสอบ หมายเลข 98 และ 351 เปรียบเทียบกับผู้เข้าสอบหมายเลข 12



ภาพ 2 โปรไฟล์คุณลักษณะที่จำเป็นต่อการเรียนเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส
ของผู้เข้าสอบหมายเลข 12, 98 และ 351 ตามลำดับ



ภาพ 3 เปรียบเทียบโปรไฟล์คุณลักษณะที่จำเป็นต่อการเรียนเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส
ของผู้เข้าสอบหมายเลข 12, 98 และ 351

ผลการตรวจสอบค่าความเที่ยงทั้งฉบับของแบบสอบวินิจฉัยด้วยค่าความเที่ยงในการจำแนก (classification consistency) หรือค่า ρ_c พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.88 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์ตามที่ Taber (2018) ระบุคือมีค่าความเที่ยงมากกว่า 0.8 จึงสรุปได้ว่า แบบสอบวินิจฉัยมีความเที่ยงผ่านเกณฑ์และอยู่ในระดับสูง

อภิปรายผล

ผลการตรวจสอบคุณภาพของเมทริกซ์คิวของแบบสอบวินิจฉัยโดยใช้การตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ข้อสอบทุกข้อมีค่าดัชนี IOC เท่ากับ 1.00 แสดงให้เห็นว่า แบบสอบวินิจฉัยผ่านการพัฒนามาจากมโนทัศน์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับ pH ของสารละลายกรด-เบส และตัวถูกพัฒนาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่รวบรวมมาจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ผลการตรวจสอบค่าดัชนีอำนาจจำแนกของข้อสอบแต่ละข้อพบว่า ข้อสอบแต่ละข้อมีค่าดัชนีอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 0.71 มีข้อสอบที่มีอำนาจจำแนกผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ข้อ 21 จาก 25 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 84 ซึ่งประกอบด้วยข้อสอบที่มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกระดับปานกลางทั้งหมด ข้อ 9 และข้อสอบที่มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกต่ำ แต่พอใช้ได้มีทั้งหมด 12 ข้อ ซึ่งค่าดัชนีอำนาจจำแนกในระดับต่ำ แต่พอใช้ได้เหล่านี้ อาจเกิดจากความหลากหลายของรูปแบบจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุงของตัวอย่างวิจัยมีค่าต่ำ อันเนื่องมาจากตัวอย่างวิจัยเดาคำตอบ หรือไม่ตั้งใจทำแบบสอบ จึงส่งผลให้ค่าดัชนีอำนาจจำแนกของข้อสอบอยู่ในระดับต่ำ (Wise & Kong, 2005) ในส่วนข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนกใช้ไม่ได้ ควรตัดทิ้งทั้งหมด 4 ข้อ ได้แก่ข้อ 3, 4, 5 วัดคุณลักษณะข้อที่ 1 และข้อ 8 วัดคุณลักษณะที่ 2 นั้น

ในแบบสอบฯ มีข้อสอบข้ออื่นที่วัดในคุณลักษณะข้อเดียวกันครอบคลุมตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ การตัดข้อคำถามข้อดังกล่าวจึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเครื่องมือด้านค่าพารามิเตอร์การเดา และพารามิเตอร์ความสะเพร่า

ผลการวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ด้วยโมเดลจีไดนา พบว่า แบบสอบทั้งฉบับมีความน่าจะเป็นที่จะจัดกลุ่มผู้สอบได้ถูกต้อง 0.938 กล่าวคือ แบบสอบวินิจัยที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกผู้สอบเข้ากลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 93.8 และเมื่อพิจารณาความถูกต้องในการจำแนกเข้ากลุ่มรายคุณลักษณะ พบว่า มีค่าความน่าจะเป็นในการจำแนกผู้สอบได้ถูกต้องตามคุณลักษณะ ระหว่าง 0.938 ถึง 0.986 คิดเป็นร้อยละ 93.8 ถึง 98.6 เป็นไปตามเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของ Wang et al. (2015) รวมทั้ง ผลการตรวจสอบค่าความเที่ยงทั้งฉบับของแบบสอบวินิจัย พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.88 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบสอบวินิจัยที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงสูงและมีความคงเส้นคงวาในการนำไปวัดซ้ำ แสดงให้เห็นว่าแบบสอบวินิจัย เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบสอบที่มีคุณภาพ สามารถจำแนกกลุ่มผู้สอบได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากโมเดลจีไดนาเป็นโมเดลที่มีลักษณะชดเชย (compensatory model) มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ มีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือสูง (de la Torre, 2011; Ma & de la Torre, 2019) นอกจากนี้การรายงานผลการวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบโปรไฟล์คุณลักษณะ ในรูปแบบกราฟแผนภูมิที่ระบุจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุง ถือเป็นข้อมูลย้อนกลับรายบุคคลที่มีประโยชน์ต่อผู้เรียน ในการระบุนวามโนทัศน์ใดเป็นจุดแข็งของผู้เรียน หรือมีมโนทัศน์ใดที่ผู้เรียนเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน ซึ่งหลักฐานการวินิจัยมโนทัศน์ดังกล่าวมีส่วนสำคัญยิ่งต่อผู้เรียนและผู้สอน ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน เพื่อแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องยิ่งขึ้น (Chaimongkol & Ngudgratoke, 2018)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 ผู้สอนในรายวิชาเคมีสามารถนำแบบสอบวินิจัยทางพุทธิปัญญา เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้วไปใช้วินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน และนำผลการวินิจัยไปใช้ในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน เพื่อให้ผู้เรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง รวมทั้งให้ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) แก่ผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสในการพัฒนาตนเอง และทำความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนก่อนมีการประเมินผลแบบสรุปรวม (summative assessment) เมื่อสิ้นภาคการศึกษา

1.2 จากผลการวินิจัยจุดแข็งและจุดที่ควรปรับปรุงในเรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ทั้ง 3 คุณลักษณะ พบว่า ตัวอย่างวิจัยมีจุดที่ควรปรับปรุงมากที่สุดในคุณลักษณะที่ 3 การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะที่ 1 และ 2 ดังนั้นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำหลักสูตร ควรนำข้อค้นพบนี้ไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบและพัฒนาหลักสูตรในเนื้อหา pH ของสารละลายกรด-เบส ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง นอกจากนี้ในระดับชั้นเรียน ผู้สอนในรายวิชาเคมีต้องออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายยิ่งขึ้น หรือมีการสอนเสริมเพิ่มเติมความรู้ในเรื่องการบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการพัฒนากระบวนการทดสอบเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ในรายวิชาอื่น ๆ โดยพัฒนาระบบให้สัมพันธ์กับหน่วยการเรียนรู้ที่ผู้สอนกำหนดไว้ในแต่ละภาคการศึกษา และมีการสร้างคู่มือการใช้งานระบบการทดสอบเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้สอนและบุคคลที่สนใจนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินระหว่างเรียน (formative assessment)

2.2 ควรมีการพัฒนากระบวนการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ทางพุทธิปัญญา (Cognitive diagnostic computerized adaptive testing: CD-CAT) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าทำการทดสอบได้ตามความสะดวก และรับทราบรายงานผลการวินิจฉัยได้หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบ

References

- Chaimongkol, N., & Ngudgratoke, S. (2018). Cognitive Diagnostic Report for large scale testing: A case of Ordinary National Education Testing (ONET) in Thailand. *Yearbook of Teacher Education*, 316-322.
- de la Torre, J. (2011). The Generalized DINA Model Framework. *Psychometrika*, 76(2), 179-199. <https://doi.org/10.1007/s11336-011-9207-7>
- de la Torre, J., & Akbay, L. (2019). Implementation of Cognitive Diagnosis Modeling using the GDINA R Package. *Eurasian Journal of Educational Research (EJER)*, 19, 171-192. <https://doi.org/10.14689/ejer.2019.80.9>
- de la Torre, J., & Chiu, C. Y. (2016). A general method of empirical Q-matrix validation. *Psychometrika*, 81(2), 253-273. <https://doi.org/10.1007/s11336-015-9467-8>
- Hoe, K. Y., & Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid-base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 2016(17), 263-282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/C5RP00146C>
- Ma, W., & de la Torre, J. (2019). Category-Level Model Selection for the Sequential G-DINA Model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 44(1), 45-77. <https://doi.org/10.3102/1076998618792484>
- Ma, W., & de la Torre, J. (2020). GDINA: An R Package for Cognitive Diagnosis Modeling. *Journal of Statistical Software*, 93(14), 1-26. <https://doi.org/10.18637/jss.v093.i14>
- Mubarakah, F. D., Mulyani, S., & Indriyanti, N. Y. (2018). Identifying Students' Misconceptions of Acid-Base Concepts Using a Three-Tier Diagnostic Test: A Case of Indonesia and Thailand. *Journal of Turkish Science Education*, 15, 51-58. <https://doi.org/10.12973/tused.10256a>

- Nájera, P., Sorrel, M. A., & Abad, F. J. (2019). Reconsidering Cutoff Points in the General Method of Empirical Q-Matrix Validation. *Educational and Psychological Measurement*, 79(4), 727-753. <https://doi.org/10.1177/0013164418822700>
- Oguz Basokcu, T., Tuncay O., & Hulya K. (2013). Model Data Fit Comparison between DINA and G-DINA in Cognitive Diagnostic Models. *Education Journal*, 2(6), 256-262. <https://doi.org/10.11648/j.edu.20130206.18>
- Shi, Q., Ma, W., Robitzsch, A., Sorrel, M, A., & Man, K. (2021). Cognitively Diagnostic Analysis Using the G-DINA Model in R. *Psych* 2021, 3, 812-835. <https://doi.org/10.3390/psych3040052>
- Soeharto, S., Csapó, B., Sarimanah, E., Dewi, F.I., & Sabri, T. (2019). A Review of Students' Common Misconceptions in Science and Their Diagnostic Assessment Tools. *Indonesian Journal of Science Education*, 8(2), 247-266. <https://doi.org/10.15294/JPII.V8I2.18649>
- Susilaningsih, E., Nuswowati, M., & Muttaqin, U. (2020). Using open reasoned Three-tier Test to identify acid-base conceptual understanding of senior high school student. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567, 022055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022055>
- Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. *Research in Science Education*, 48, 1273-1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Wang, W., Song, L., Chen, P., Meng, Y., & Ding, S. (2015). Attribute-Level and Pattern-Level Classification Consistency and Accuracy Indices for Cognitive Diagnostic Assessment. *Journal of Educational Measurement*, 52(4), 457-476. <http://www.jstor.org/stable/43940633>
- Wise, S, L., & Kong, X, J. (2005). Response Time Effort: A New Measure of Examinee Motivation in Computer-Based Tests. *Applied Measurement in Education*, 18, 163 - 183.

Translate Thai References

- Chaimongkol, N., Anantasawas, S., & Rumsaeng, V. (2020). The Development of Cognitive Diagnostic Test in Covalent Molecules: An Application of G-DINA Model. *Journal of Education Naresuan University*, 24(1), 123-137. (in Thai)
- Kanjanawasee, S. (2013). *Classical Test Theory* (7th ed.). Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Office of Basic Education Policy and Planning. (2023). *Educational statistics for academic year 2023*. http://www.bopp.go.th/?page_id=3544 (in Thai)