

การออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์
โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง
Designing Methods to Diagnose Scientific Misconceptions
by using Automated feedback through Machine Learning

ศรัณย์ธร อินทศิริ^{1*} พัทธี จันท์เพ็ง² ชัยวัฒน์ ทะวะรุ่งเรือง³ และ ธนพงศ์ อินทะระ⁴

Sarunthorn Inthasiri^{1*}, Putharee Junpeng², Chaiwat Tawarungruang³ and Thanapong Intharah⁴

(Received: March 31, 2022; Revised: May 23, 2022; Accepted: May 27, 2022)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมาย (1) เพื่อวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนในระดับแผนที่โครงสร้างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน การออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบ การกำหนดจุดตัด และข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการทำนายระดับความสามารถของผู้เรียน และ (2) เพื่อออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน จากการให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้การวิจัยการออกแบบ กลุ่มผู้สอบ คือผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 713 คน ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์แบบพหุมิติ ประกอบด้วยมิติความรู้และมิติการให้เหตุผล โดยใช้โมเดล MRCML วิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียน และออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์

ผลการวิจัยปรากฏ ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียน พบว่า (1) ระดับความสามารถของข้อสอบตามแผนที่โครงสร้างสามารถวัดระดับความสามารถของผู้เรียนได้ตามระดับแผนที่โครงสร้าง และมีบางข้อที่ผู้เรียนมีความสามารถเกินความสามารถรายข้อที่กำหนดไว้ (2) ผู้เรียนส่วนมากมีรูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนรายข้อ

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ นักวิจัย ศูนย์จัดการข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอรรถริยาพนกวิจัยรุ่นกลาง ประจำปี 2565 จากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) รหัสโครงการวิจัย N42A650236

¹ Master's degree student, Educational Measurement and Evaluation Program, Faculty of Education, Khon Kaen University

² Associate Professor, Educational Measurement and Evaluation Program, Faculty of Education, Khon Kaen University

³ Researcher, Data Management and Statistical Analysis Center, Faculty of Public Health, Khon Kaen University

⁴ Lecturer, Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University

The research received a research grant for Talented Mid-Career Researchers 2022 from the National Research Council of Thailand (NRCT) Project No. N42A650236

* Corresponding Author E-mail: Sarunthorni@kkumail.com

ในรูปแบบความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์และภาษา และทั้งฉบับในมิติด้านความรู้ในระดับความไม่เข้าใจ และ มิติการให้เหตุผลในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (3) ออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบจากคำตอบของผู้เรียน โดยตัวเลือกมีคะแนนหลายค่าตามระดับความสามารถของตัวเลือก (4) กำหนดจุดตัดโดยการกำหนดพื้นที่บน Wright map ในมิติความรู้ได้ 5 ระดับ 4 จุดตัดที่ -0.50 0.50 0.42 และ 1.19 ตามลำดับ และมิติการให้เหตุผลได้ 4 ระดับ 3 จุดตัดที่ -0.19 2.29 และ 5.49 ตามลำดับ และ (5) ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถทำนายระดับความสามารถของผู้เรียนได้ คือ เกรดเฉลี่ยรวม เกรดเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์ และจำนวนชั่วโมงที่ศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

2. ผลการออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับ อัตโนมัตินผ่านการเรียนรู้ของเครื่องประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (1) ส่วนรับข้อมูล (2) ส่วนประมวลผล (3) การให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ และ (4) ส่วนรายงานผลการประเมิน

คำสำคัญ: การวินิจฉัย ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน การป้อนกลับอัตโนมัติ การเรียนรู้ของเครื่อง
โมเดลพหุมิติสัมประสิทธิ์การสุ่มแบบโลจิท

Abstract

This research had the objectives to: (1) analyze student response patterns regarding construct map, misconceptions, objective test transformation, cut scores, and the students' baseline data, to predict their level; and (2) design diagnostic methods for scientific misconceptions using the automated feedback system through machine learning. The research was conducted under design research model. The participants comprised 713 grade 10 students as respondents. The instrument was a diagnosing multidimensional scientific misconceptions test that included knowledge dimension and rational thinking dimension. The analysis of the student response patterns was based on the multidimensional model under MRCML model. Then, the diagnostic methods for scientific misconceptions were developed.

The results were as follows:

1. On the respondent patterns analysis, it was found that (1) the test was capable of measuring the student's ability according to the construct map, accompanied with superior level evaluation in some particular segments; (2) most students had their misconceptions on each item in conceptual misunderstanding and vernacular misconceptions. Their misconceptions on the whole test in the knowledge dimension were at the no understanding level (NU) and in the rational thinking dimension were at the partial understanding (PU) level. (3) Objective test transformation derived from the student responses contained multiple choices with varied scores elicited on individual choice capability. (4) The setting cut scores on Wright map in the knowledge dimension were divided into five levels and four cut scores, at -0.50, 0.50, 0.42 and

1.19 respectively. The rational thinking dimension featured four levels with three cut scores at -0.19, 2.29 and 5.49 respectively. And (5) the students' baseline data to predict the level of the students' ability included the overall GPA, science GPA and hours per week of self-study in science.

2. The design of the diagnostic methods for scientific misconceptions using the automated feedback system through machine learning was developed on the basis of 4 elements: 1. input, 2. processing, 3. automated feedback, and 4. assessment reporting.

Keywords: diagnosis, misconceptions, automated feedback, machine Learning, MRCML

บทนำ

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์เป็นอุปสรรคในการเรียนวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยจำกัดการพัฒนาความคิดที่ถูกต้องซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้ชั้นสูง (National Research Council, 1997) ปัจจัยบางประการที่ทำให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ เช่น ประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน หนังสือเรียน ครูผู้สอน และภาษาที่ใช้ หรืออาจเกิดจากลักษณะของมโนทัศน์ที่มีความเป็นนามธรรมและมีความซับซ้อน (Ling, 2017; Widiyatmoko & Shimizu, 2018) เช่น มโนทัศน์ในเรื่อง พันธุศาสตร์ เป็นต้น นักวิชาการหลายกลุ่มจึงมีความพยายามพัฒนามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การสร้างเครื่องมือเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Kalas et al., 2013) การนำผลการประเมินที่ได้มาออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ (Thakho & Termtachatipongsa, 2015) เป็นต้น การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาผู้เรียน ให้มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นต่อไป

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนซึ่งเป็นหัวใจสำคัญนั้นยังไม่มีที่แพร่หลายในทางปฏิบัติมากนัก ส่วนมากมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือและพิจารณาความถี่ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Gurel et al., 2015; Soeharto et al., 2019) ประกอบกับยังไม่มี การป้อนกลับผลการตอบของผู้เรียนอัตโนมัติอย่างทันที แต่มีความพยายามในการประเมินผู้เรียนจากแบบทดสอบ เพื่อลดความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน เช่น มีการพัฒนาเครื่องมือดิจิทัลเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธุศาสตร์ ร่วมกับการใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ มาวินิจฉัยผลการตอบและรายงานผลผู้เรียนรายบุคคลผ่านระบบ web application แต่ยังพบข้อจำกัดที่ต้องตรวจแบบทดสอบด้วยตนเอง ไม่สามารถรายงานผลได้ทันที และจำเป็นต้องใช้กับกลุ่มผู้เรียนขนาดใหญ่เพื่อความถูกต้องและคงเส้นคงวา (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020) ซึ่งหากสามารถป้อนกลับข้อมูลสู่ผู้เรียนได้ทันที จะทำให้ผู้เรียนสามารถจดจำได้ดียิ่งขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามหากกระงับการให้ข้อมูลป้อนกลับ จะมีการจดจำในเรื่องที่เรียนลดลงและเกิดการจดจำในสิ่งที่ผิดพลาด (Zhang et al., 2016)

การออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีทางการศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวินิจฉัยอย่างอัตโนมัติ ซึ่งปัจจุบันการประเมินประเภทต่าง ๆ มีการนำ การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากเป็นอัลกอริธึมของคอมพิวเตอร์

ที่เรียนรู้และปรับปรุงได้อัตโนมัติผ่านประสบการณ์และการใช้งานของข้อมูล (Mitchell, 1997) เช่น มีการใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการจัดประเภทข้อความเพื่อทำนายผลการเรียนของนักเรียนและระบุนักเรียนที่เสี่ยงต่อการไม่จบหลักสูตร (Wu et al., 2018) ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) (Mohammed et al., 2016) โดยอัลกอริทึมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้ (training data) ซึ่งได้จากชุดข้อมูล (data Set) และส่วนที่รับกลับมาจากผู้เรียน (feedback) เพื่อปรับปรุงและเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลที่ส่งออกในการสร้างสมการการทำนายเพื่อทำนายระดับความสามารถของผู้เรียนจากข้อมูลพื้นฐาน

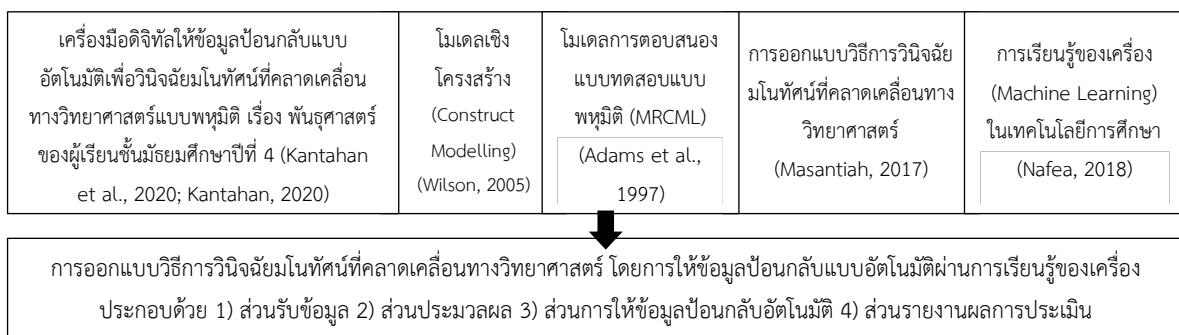
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้ข้อมูลทฤษฎีภูมิจากงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือดิจิทัลเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาพันธุศาสตร์ (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เป็นแบบทดสอบแบบพหุมิติที่มีการวัดความสามารถของผู้เรียนในมิติความรู้และมิติการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์จำแนกตามแผนที่โครงสร้างในแต่ละมิติ ด้วยเป็นแบบทดสอบแบบพหุมิติจึงจำเป็นต้องใช้โดยใช้โมเดลพหุมิติสัมประสิทธิ์การสุ่มแบบโลจิท (Multidimensional Random Coefficients Multinomial Logit; MRCML) (Adams et al., 1997; Junpeng, 2018) ที่เป็นโมเดลที่ช่วยวินิจฉัยมโนทัศน์ กำหนดจุดตัด และกำหนดพื้นที่ของแต่ละระดับความสามารถบน Wright Map เพื่อสร้างเป็นนวัตกรรมต้นแบบในการประเมินผลและป้อนกลับข้อมูลอัตโนมัติได้อย่างทันที สำหรับผู้เรียน ครู ผู้ปกครองตลอดจนบุคลากรทางการศึกษา สะท้อนถึงสิ่งที่คุณครูรู้ ระดับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและสิ่งที่คุณครูควรพัฒนาได้อย่างชัดเจน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนในระดับแผนที่โครงสร้าง มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน การออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบ การกำหนดจุดตัด และข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการทำนายระดับความสามารถของผู้เรียน
2. เพื่อออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยได้ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยการออกแบบ (design research) (Wongwanich, 2017) โดยแบ่งเป็น 4 ระยะ คือ (1) การวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนเพื่อนำไปสู่การออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ (2) การออกแบบวิธีการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง (3) การนำนวัตกรรมต้นแบบไปทดลองใช้เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ ปรับปรุง พัฒนา และรายงานคุณภาพของนวัตกรรม และ (4) เสนอหลักการออกแบบใหม่ในการพัฒนานวัตกรรมต้นแบบ โดยการนำเสนอในบทความครั้งนี้ เป็นการศึกษาในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ดังนี้

ระยะที่ 1 วิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนเพื่อนำไปสู่การออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ

ระยะนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อนำไปสู่การออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ มีรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรและตัวอย่างของงานวิจัยครั้งนี้มาจากข้อมูลทุติยภูมิจากงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องมือดิจิทัลเพื่อวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธุศาสตร์ (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020) ประชากรเป็นผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 31 จำนวน 10,362 คน กลุ่มตัวอย่างจำนวน 713 คน ซึ่งได้จากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (multi stage random sampling) ที่ครอบคลุมทุกระดับความสามารถ ประกอบด้วย เก่ง ปานกลาง และอ่อน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

(1) แบบทดสอบวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์แบบพหุมิติ เรื่อง พันธุศาสตร์ พัฒนาโดย Kantahan et al. (2020); Kantahan (2020) เป็นแบบทดสอบปรนัยจำนวน 20 ข้อ มิติความรู้จำนวน 11 ข้อและมิติการให้เหตุผลจำนวน 9 ข้อ ผ่านระบบการทดสอบออนไลน์ เรียกว่า “eMAT-Testing” บน Web Application ที่สามารถตอบสนองต่อผู้เรียนได้โดยตรงและทันที (Junpeng et al., 2020) คุณภาพของเครื่องมือเป็นไปตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานการทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา (AERA et al., 2014) คือ (1) หลักฐานความตรง สะท้อนให้เห็นถึงความตรงเชิงโครงสร้างภายใน พบว่า โมเดลพหุมิติมีความเหมาะสมและสอดคล้องมากกว่าโมเดลเอกมิติ โดยพิจารณาจากค่า G^2 (Deviance statistic) ของโมเดลพหุมิติมีค่าน้อยกว่าการศึกษาแบบเอกมิตินอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า G^2 มีค่าไคว์สแควร์ เท่ากับ 192.34 และ $df=2$ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .01 ($\chi^2 = 192.34, df = 2, p = 0.01$) แสดงว่าการวิเคราะห์โดยใช้โมเดลพหุมิติ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือมากกว่า และเหมาะสำหรับการตรวจให้คะแนน ตามแผนที่โครงสร้างที่กำหนดไว้ (2) หลักฐานความเที่ยงแบบ Expected A Posteriori (EAP/PV) มีค่าความเที่ยงของโมเดลพหุมิติเท่ากับ 0.86 และมีค่า SEM อยู่ระหว่าง 0.38 – 0.56 แสดงว่า การประมาณค่ามีความคลาดเคลื่อนปานกลางถึงสูง สะท้อนให้เห็นว่าเครื่องมือดังกล่าวมีความคงเส้น คงวา และ (3) ความเหมาะสมรายข้อ พบว่า มีค่า INFIT MNSQ อยู่ระหว่าง 0.87 – 1.26

ซึ่งมีค่าตามเกณฑ์ที่ 0.75-1.33 แสดงว่าข้อคำถามทุกข้อมีคุณภาพด้านความตรงเชิงโครงสร้าง โดยสอดคล้องกับแผนที่โครงสร้างทั้งสองมิติ

(2) แบบฟอร์มการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ เป็นตารางอธิบายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากผลการตอบของผู้เรียนรายข้อ จัดรูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 5 รูปแบบตามนิยามของ National Research Council (1997) และผลการตอบของผู้เรียนทั้งฉบับแบ่งระดับความเข้าใจมโนทัศน์ 5 ระดับตามนิยามของ Westbrook & Marek (1992)

3. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทฤษฎี (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020) ที่ได้จากการตอบแบบทดสอบมาวิเคราะห์ผล เพื่อนำไปสู่การออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาแผนที่โครงสร้างของระดับผลลัพธ์การเรียนรู้ ภาพ 2 และกำหนดแนวทางในการตรวจให้คะแนนตามแผนที่โครงสร้างประกอบด้วย (1) มิติความรู้ แบ่งระดับความสามารถของผู้เรียน 5 ระดับ มีการตรวจให้คะแนนสองค่า คือ 0 และ 1 และ (2) มิติการให้เหตุผล แบ่งระดับความสามารถของผู้เรียน 4 ระดับ มีการตรวจให้คะแนนหลายค่าตั้งแต่ 0-3 คะแนน

ระดับสูง RE	มิติที่ 1 ความรู้ทางวิทยาศาสตร์	ระดับสูง RE	มิติที่ 2 การให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์
↑	5 การคิดเชิงขยาย (Extended Thinking)	↑	4 การเชื่อมโยงแนวคิดวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์ (Complete Link and Science Idea)
	4 การคิดเชิงกลยุทธ์/มียุทธวิธีในการคิด (Strategic Thinking)		3 การเชื่อมโยงในการคิด (Relating and Link)
	3 ทักษะ/ความคิดรวบยอด (Skill/Concept)		2 การอธิบาย (Skill and Representing)
	2 จดจำได้/เรียกคืน (Recall)		1 ตอบไม่สอดคล้อง/ ไม่เกี่ยวข้อง (Non-recall)
↓	1 ตอบไม่สอดคล้อง/ ไม่เกี่ยวข้อง (Non-recall)	↓	
ระดับต่ำ RE		ระดับต่ำ RE	

ภาพ 2 แผนที่โครงสร้างมิติความรู้และมิติการให้เหตุผล (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020)

3.2 นำข้อมูลทฤษฎีจากงานวิจัยของ Kantahan et al. (2020); Kantahan (2020) มาตรวจให้คะแนนและจัดกลุ่มตามระดับแผนที่โครงสร้าง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของนักเรียนกับความสามารถของแบบทดสอบ และวิเคราะห์คำตอบของผู้เรียนในแต่ละระดับแผนที่โครงสร้าง รูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบในมิติการให้เหตุผลและการป้อนกลับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละมิติ

3.3 สร้างจุดวัดระดับความสามารถของผู้เรียนโดยใช้โปรแกรม ACER ConQuest Version 2.0 (Wu et al., 2007) ด้วยวิธี MLE เนื่องจากมีความคงเส้นคงวาในการประมาณค่าและง่ายต่อการนำไปใช้จริง (Paneaw et al., 2021; Paneaw, 2021) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบทดสอบและผู้เรียน พร้อมนำเสนอเป็น Wright map โดยนำเสนอแยกตามมิติ ซึ่งประกอบด้วย มิติความรู้และมิติการให้เหตุผล

3.4 นำค่าชั้นของความคลาดเคลื่อน (threshold) ในแต่ละชั้นของการตอบแบบเดียวกัน รวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละมิติ เพื่อกำหนดเป็นจุดตัดในการแบ่งระดับความสามารถ และนำค่าของจุดตัด เปรียบเทียบกับ Wright map เพื่อกำหนดพื้นที่ของแต่ละระดับความสามารถ

3.5 นำค่าจุดตัดซึ่งเป็นพารามิเตอร์ความสามารถที่เหมาะสมที่ปรากฏใน Wright map แปลงเป็นคะแนนสเกล (θ_d) ที่เป็นคะแนนมาตรฐานในการวินิจฉัย โดยใช้สูตรดังสมการ คะแนนสเกล = $50 + 10(\theta_d)$ เมื่อ θ_d แทน ค่าความสามารถของผู้สอบซึ่งประมาณได้จากโมเดล MRCML ในมิติที่ทำการวินิจฉัย

3.6 กำหนดตัวแปรจากข้อมูลพื้นฐานและผลการตอบของผู้เรียน เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรใดบ้าง ที่ส่งผลต่อระดับความสามารถของผู้เรียน เพื่อนำไปสู่การสร้างสมการการทำนายในการเรียนรู้ของเครื่อง

ระยะที่ 2 ออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ

ในระยะนี้เป็นการออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ โดยการสนทนากลุ่ม (focus group) ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งใช้ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 1 มาออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง มีรายละเอียดดังนี้

1. ผู้ให้ข้อมูล

ผู้ให้ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2 เป็นผู้เชี่ยวชาญจำนวนทั้งสิ้น 6 คน ได้แก่ ครูวิทยาศาสตร์ 2 คน วิศวกรคอมพิวเตอร์ 2 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล 2 คน

2. เครื่องมือ

แบบประเมินแบบสำรวจรายการตามมาตรฐานการประเมินคุณภาพของนวัตกรรมต้นแบบตาม Joint Committee on Standards for Educational Evaluation (Yarbrough et al., 2010; Varasunun, 2011) ประกอบด้วย 5 มาตรฐาน คือ ด้านอรรถประโยชน์ ด้านความเป็นไปได้ ด้านความเหมาะสม ด้านความถูกต้อง และด้านความรับผิดชอบการประเมิน

3. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 จัดเตรียมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การตอบของผู้เรียนระยะที่ 1

3.2 สนทนากลุ่มร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ ในการออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง ประกอบด้วย ขั้นตอนการทำงานของระบบ รายละเอียดแต่ละขั้นตอน วิธีการในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการรายงานผลสู่ผู้เรียน

3.3 กำหนดวิธีการในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน และขั้นตอนการให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านแพลตฟอร์มการเรียนรู้ดิจิทัล (work flow) อย่างเป็นขั้นตอน

3.4 วิเคราะห์และพัฒนาคุณภาพของนวัตกรรมต้นแบบโดยการสนทนากลุ่ม พบว่า ผลการประเมินคุณภาพที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานการประเมินคุณภาพของนวัตกรรมต้นแบบใน 5 มาตรฐาน คือ ด้านอรรถประโยชน์ ด้านความเป็นไปได้ ด้านความเหมาะสม ด้านความถูกต้อง และด้านความรับผิดชอบการประเมิน โดยนวัตกรรมต้นแบบมีความทันสมัย สามารถวินิจฉัยถูกต้องตรงตามความสามารถของผู้เรียน และให้การป้อนกลับผู้เรียนได้อย่างทันที ใช้งานได้สะดวกผ่านทางคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการตอบของผู้เรียนและการร่วมกันออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ ผู้วิจัย
ขอเสนอผลการวิจัยในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์การตอบของผู้เรียนจากข้อมูลทฤษฎี

1.1 ผลการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนในระดับแผนที่โครงสร้าง จากข้อมูลทฤษฎี (Kantahan et al., 2020; Kantahan, 2020) ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบพหุมิติ ประกอบด้วยมิติความรู้และมิติการให้เหตุผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ มิติความรู้ พบว่าผู้เรียนมีความสามารถ
ในมิติความรู้เฉลี่ยร้อยละ 48.72 ในแต่ละระดับความสามารถตามแผนที่โครงสร้างของข้อสอบรายข้อนั้น ๆ
พบว่า ที่ระดับ 2 ระดับ 3 ระดับ 4 และระดับ 5 ผู้เรียนตอบถูกเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 48.95, 48.67, 40.12 และ
52.03 ตามลำดับ และมิติการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ พบว่าผู้เรียนมีความสามารถในการให้เหตุผลเฉลี่ย
ร้อยละ 54.76 โดยระดับความสามารถของข้อสอบรายข้อตามแผนที่โครงสร้าง สามารถวัดความสามารถของ
ผู้เรียนได้หลายค่า (0-3 คะแนน) ขึ้นอยู่กับการตอบของผู้เรียน และมี 6 ข้อ ที่ผู้เรียนสามารถตอบแบบทดสอบ
เกินระดับความสามารถที่กำหนดไว้เฉลี่ยร้อยละ 2.23 ในข้อที่ 5 , 8 , 10 , 12 , 14 และ 16 ดังตาราง 1

ตัวอย่างเช่น ข้อที่ 14. “ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างระหว่าง DNA และ RNA” ระดับความสามารถ
ของข้อสอบอยู่ในระดับที่ 2 การอธิบาย แต่มีผู้เรียนที่สามารถตอบได้เกินระดับความสามารถของข้อสอบร้อยละ
19.07 ซึ่งอยู่ในระดับที่ 3 การเชื่อมโยงในการคิด แสดงว่าข้อสอบสามารถวัดความสามารถของผู้เรียนได้ถึง
ระดับที่ 3 การเชื่อมโยงในการคิดตามแผนที่โครงสร้าง

ตาราง 1 ร้อยละคะแนนที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนในมิติความรู้และการให้เหตุผล

ข้อ	ระดับข้อสอบ	คะแนนมิติความรู้		ข้อ	ระดับข้อสอบ	คะแนนมิติการให้เหตุผล			
		0	1			0	1	2	3
1	2	37.59	62.41	2	2	69.71	30.29		
3	3	57.92	42.08	5	2	55.82	44.04	0.14	
4	3	44.88	55.12	8	3	33.66	54.42	11.50	0.42
6	4	46.84	53.16	10	3	40.53	44.88	14.45	0.14
7	3	61.43	38.57	12	2	53.16	46.14	0.56	0.14
9	2	47.97	52.03	14	2	29.03	51.89	19.07	
11	3	55.54	44.46	15	3	34.78	43.90	21.32	
13	4	72.93	27.07	16	3	54.42	20.90	24.54	0.14
17	3	36.89	63.11	18	4	36.04	46.98	14.03	2.95
19	5	47.97	52.03						
20	2	54.14	45.86						

1.2 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน ประกอบด้วยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนรายข้อ
และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้งฉบับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน
รายข้อ มีการจัดรูปแบบของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนตามที่ National Research Council (1997)
กำหนดไว้ ประกอบด้วย 5 ประเภท ได้แก่ อุปาทาน ความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับ
มโนทัศน์ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากภาษา และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับข้อเท็จจริง พบว่า ผู้เรียน

ส่วนมากมีรูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในรูปแบบความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์และภาษา ตัวอย่างเช่น ข้อที่ 1. “เมนเดลเลือกถั่วลันเตามาใช้ในการทดลอง เนื่องจากมีคุณสมบัติข้อหนึ่งคือเป็นพืชที่ผสมตัวเอง (self-fertilized) ข้อใดให้ความหมายของการผสมตัวเองได้ถูกต้องที่สุด” พบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบไม่ถูกต้อง อาจอันเนื่องมาจากผู้เรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในรูปแบบ (3) ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์ หรือ (4) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากภาษา กล่าวคือผู้เรียนอาจจะไม่รู้จักคำศัพท์คำว่า “ผสมตัวเอง” ว่ามีกระบวนการอย่างไร หรือผู้เรียนอาจมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของการผสมตัวเอง

การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนทั้งฉบับ เมื่อผู้เรียนทำแบบทดสอบทั้งฉบับเรียบร้อยแล้ว จะมีการรายงานผลมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้งฉบับ มีการจัดระดับความเข้าใจมโนทัศน์ 5 ระดับตามที่ Westbrook & Marek (1992) กำหนดไว้ ประกอบด้วย 5 ประเภท (1) ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับความไม่เข้าใจ (NU) (2) ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (3) ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (4) ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่สมบูรณ์ (CU) และ (5) ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) ดังตาราง 2

ตาราง 2 การกำหนดจุดตัด ระดับความสามารถ คะแนนสเกล คะแนนดิบและระดับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนทั้งฉบับในมิติความรู้และมิติการให้เหตุผล

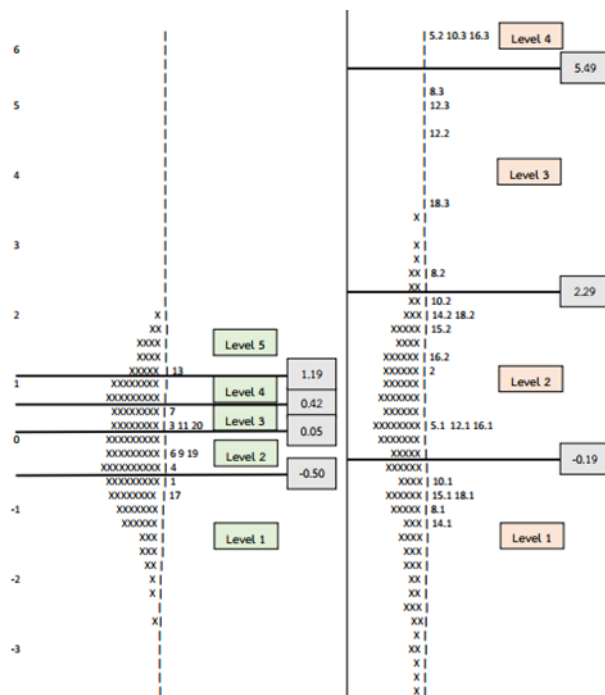
มิติความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (คะแนนเต็ม (11 คะแนน))					
จุดตัด	ระดับ ความสามารถ	ช่วงระดับ ความสามารถ (θ)	คะแนนสเกล	ช่วง คะแนนดิบ	ระดับความเข้าใจ มโนทัศน์
$\theta = 1.19$	ระดับ 5	$\theta = 1.19$ ขึ้นไป	61.9 ขึ้นไป	9-11	CU
$\theta = 0.42$	ระดับ 4	$\theta = 0.42$ ถึง 1.18	54.2 – 61.8	7-8	PU
$\theta = 0.05$	ระดับ 3	$\theta = 0.05$ ถึง 0.41	50.5 – 54.1	6	PS
$\theta = -0.50$	ระดับ 2	$\theta = -0.50$ ถึง 0.04	45 – 50.4	4-5	AC
	ระดับ 1	ต่ำกว่า $\theta = -0.50$	ต่ำกว่า 45	0-3	NU
มิติการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ (คะแนนเต็ม (22 คะแนน))					
$\theta = 5.49$	ระดับ 4	$\theta = 5.49$ ขึ้นไป	104.8 ขึ้นไป	19-22	CU
$\theta = 2.29$	ระดับ 3	$\theta = 2.19$ ถึง 5.48	71.9 – 104.8	12-18	PU
$\theta = -0.19$	ระดับ 2	$\theta = -0.19$ ถึง 2.18	48.1 – 71.8	5-11	PS
	ระดับ 1	ต่ำกว่า $\theta = -0.19$	ต่ำกว่า 48.1	0-4	NU

1.3 ผลการออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบ เพื่อการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนแบบอัตโนมิติและทันที ผู้วิจัยจึงนำผลการตอบแบบทดสอบมิติการให้เหตุผลซึ่งเป็นคำตอบแบบอัตนัย จากข้อมูลทฤษฎีของ Kantahan et al. (2020); Kantahan (2020) นำมาวิเคราะห์ตามแผนที่โครงสร้าง และออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบ พบว่า แต่ละตัวเลือกจะมีคะแนนที่แตกต่างกันและสอดคล้องกับระดับความสามารถของแบบทดสอบข้อนั้น ๆ ดังตาราง 3 ตัวอย่างเช่น ข้อที่ 14. “ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างระหว่าง DNA และ RNA” ผู้เรียนสามารถตอบได้เกินระดับความสามารถของข้อสอบที่อยู่ในระดับที่ 3 การเชื่อมโยงในการคิด

จึงออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบที่สามารถวัดถึงระดับที่ 3 โดยตรวจให้คะแนนหลายค่า 0-2 คะแนน และสร้างตัวเลือกแบบเลือกตอบได้ 3 ระดับความสามารถ ได้แก่ ระดับ 1 ตอบไม่สอดคล้อง/ไม่เกี่ยวข้อง 0 คะแนน ระดับ 2 การอธิบาย 1 คะแนน และระดับ 3 การเชื่อมโยงในการคิด 2 คะแนน

1.4 ผลการพัฒนาจุดตัดเพื่อวินิจฉัยนิเทศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ จากการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียน โดยใช้โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ MRCML โดยวิเคราะห์ความยากของแบบทดสอบ การกำหนดจุดตัด และการกำหนดพื้นที่ของแต่ละระดับความสามารถบน Wright map พบว่า มิติความรู้ มีระดับความสามารถของผู้เรียน 5 ระดับ 4 จุดตัดที่ -0.50 0.05 0.42 และ 1.19 และ มิติการให้เหตุผล มีระดับความสามารถของผู้เรียน 4 ระดับ 3 จุดตัดที่ -0.19 2.29 และ 5.49 นำไปสู่การกำหนดช่วงการประเมินระดับความสามารถ ดังภาพ 3 และแปลงค่าช่วงคะแนนสเกลและช่วงคะแนนติดดังตาราง 2 เพื่อนำไปใช้ในการประเมินผลผู้เรียนของนวัตกรรมต้นแบบ

1.5 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการทำนายระดับความสามารถของผู้เรียน เป็นข้อมูลพื้นฐานของผู้เรียนก่อนทำแบบทดสอบที่ได้มาจากข้อมูลทฤษฎีของ Kantahan et al. (2020); Kantahan (2020) นำข้อมูลพื้นฐานของผู้เรียนมาพิจารณาว่าตัวแปรสอดคล้องกับระดับความสามารถของผู้เรียน พบว่า สามารถกำหนดตัวแปรได้ 2 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ตัวแปรต้น ได้แก่ เกรดเฉลี่ยรวม เกรดเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวนชั่วโมงที่ศึกษาวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง/สัปดาห์ และ (2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ความสามารถของผู้เรียนในมิติความรู้และมิติเหตุผล



ภาพ 3 การกำหนดเกณฑ์จุดเปลี่ยนผ่านบน Wright Map ในมิติความรู้ (ด้านซ้าย) และมิติการให้เหตุผล (ด้านขวา)

ตาราง 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการตอบของผู้เรียนและออกแบบตัวเลือกแบบเลือกตอบ

มิติการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์				
ตัวอย่างข้อสอบ 14. ให้ผู้เรียนอธิบายความแตกต่างระหว่าง DNA และ RNA มิติด้านการให้เหตุผล (ระดับการอธิบาย)				
ระดับความสามารถ	คำบรรยายความสามารถ	ตัวอย่างคำตอบของผู้เรียน	ตัวเลือกแบบเลือกตอบ	การป้อนกลับ
ระดับ 3 การเชื่อมโยงในการคิด	ผู้เรียนสามารถระบุคำตอบได้ถูกต้อง สอดคล้องกับเนื้อหา แสดงถึงการใช้เทคนิควิธีการ ทักษะที่หลากหลายในการวิเคราะห์และให้เหตุผลทางพันธุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับคำตอบ	- DNA เป็นสายคู่ ส่วน RNA เป็นสายเดี่ยว ไนโตรจีนัสเบสของ DNA คือ A ,T ,C,G ของ RNA คือ A,U,C,G น้ำตาลของ DNA เป็นดีออกซีไรโบสและของ RNA เป็น ไรโบส - DNA เป็นสองสาย ที่มีไนโตรจีนัสเบส ATCG / RNA เป็นสายเดี่ยว AUCG	ง. DNA เป็นสายนิวคลีโอไทด์ 2 สาย แต่ RNA เป็นสายนิวคลีโอไทด์ 1 สาย /เบสที่พบใน DNA และ RNA จะต่างกันว่า T,U โดย DNA มี T และ RNA มี U (คะแนน 2)	0 คะแนน PDF + อธิบายโมโนที่คลาดเคลื่อน ก. สิ่งที่แตกต่างกันของการทำงานของชนิดเบาคู่สม น้ำตาลที่ใช้ และแหล่งที่พบคืออะไร ข. DNA และ RNA มีไนโตรจีนัสเบส
ระดับ 2 การอธิบาย	ผู้เรียนสามารถระบุคำตอบได้ถูกต้อง สอดคล้องกับเนื้อหา แสดงถึงความเข้าใจในเหตุผลที่มาสสนับสนุนคำตอบ สามารถให้เหตุผลที่สอดคล้องกับคำตอบได้บ้างหรือใกล้เคียง อาจมีเหตุผลบางส่วนไม่ถูกต้อง	- DNA มีสภาพเป็นสายคู่ RNA มีสภาพเป็นสายเดี่ยว / DNA มีไนโตรจีนัสเบส RNA มีเบส U เบสเข้ามาแทนเบส T - DNA เป็นหน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม / RNA เป็นตัวนำข้อมูลจาก DNA ส่งไปยังไรโบโซม - RNA มีน้ำตาลดีออกซีไรโบส มีเบส AUGC / DNA มีน้ำตาลไรโบส มีเบส ATGC	ข. DNA มีสภาพเป็นสายคู่ RNA มีสภาพเป็นสายเดี่ยว / DNA มีไนโตรจีนัสเบส RNA มีเบส U เบสเข้ามาแทนเบส T (คะแนน1) ค. DNA เป็นหน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม / RNA เป็นตัวนำข้อมูลจาก DNA ส่งไปยังไรโบโซม (คะแนน 1)	อะไรบ้าง 1 คะแนน PDF + อธิบายโมโนที่คลาดเคลื่อน ค. นอกจากหน้าที่ที่แตกต่างกันแล้ว DNA และ RNA มีลักษณะใดอีกที่ต่างกัน 2 คะแนน PDF ง. ผู้เรียน DNA และ RNA สามารถเชื่อมโยงไปสู่สถานการณ์ปัญหาอื่น ๆ ทางพันธุศาสตร์ในเรื่องนี้ได้
ระดับ 1 ไม่ตอบ/ตอบไม่สอดคล้อง	ผู้เรียนไม่ระบุคำตอบ หรือมีการระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่ใกล้เคียง เป็นเพียงการตอบที่มาจากกรจดจำได้ แต่ขาดการอธิบายเหตุผลสนับสนุน	- การทำงานต่างกัน ชนิดเบสคู่สมต่างกัน น้ำตาลที่ใช้ต่างกัน แหล่งที่พบต่างกัน	ก. DNA และ RNA มีการทำงานที่ต่างกัน ชนิดเบสคู่สมต่างกัน น้ำตาลที่ใช้ต่างกัน แหล่งที่พบต่างกัน (คะแนน 0)	

2. ผลการออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยการให้ข้อมูล ป้อนกลับผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

จากการวิเคราะห์ผลการตอบในระยยะที่ 1 นำมาสู่การสนทนากลุ่มเพื่อออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ
ผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการทำงานของระบบและรายละเอียดแต่ละขั้นตอน โดยมี
รายละเอียดดังนี้

2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ ดำเนินการออกแบบนวัตกรรมต้นแบบ ที่สามารถให้การวินิจฉัย
มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้อย่างอัตโนมัติและมีการป้อนกลับข้อมูลไปยังผู้เรียนได้อย่างทันที
ผ่าน web application ที่มีชื่อว่า “eMAT-Testing” ซึ่งพัฒนาต่อจาก Junpeng et al., (2020) รองรับระบบ
iOS Android และ Window ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (1) ส่วนรับข้อมูล (2) ส่วนประมวลผล (3) ส่วนให้ข้อมูล
ป้อนกลับอัตโนมัติ และ (4) ส่วนรายงานผลการประเมิน สรุปดังภาพ 4 แสดงรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

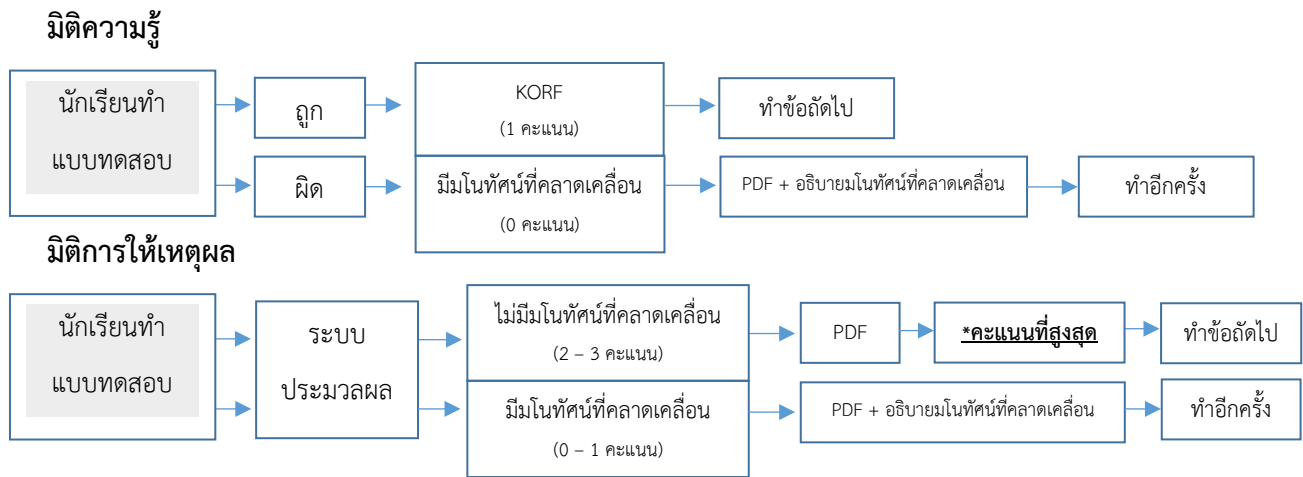


ภาพ 4 ระบบการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง

1.1.1 ส่วนรับข้อมูล เป็นการรับข้อมูลจากผู้เรียนเข้าสู่ระบบประกอบด้วย (1) ส่วนข้อมูล
พื้นฐานของผู้เรียน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเรียนรู้ของเครื่อง (2) การทำแบบทดสอบ โดยเป็นแบบทดสอบ
ปรนัยจำนวน 20 ข้อ มิตติความรู้จำนวน 11 ข้อและมิตติการให้เหตุผลจำนวน 9 ข้อ

1.1.2 ส่วนประมวลผล เป็นขั้นตอนการตรวจให้คะแนนแบบทดสอบอัตโนมัติ โดยนำส่วน
รับข้อมูลมาประมวลผลร่วมกับผลจากการวิเคราะห์ในระยยะที่ 1 ประกอบด้วย (1) ส่วนวินิจฉัยที่ให้คะแนน
ข้อสอบ โดยมีการให้คะแนนแบบทดสอบรายข้อและเมื่อทำแบบทดสอบแล้วเสร็จ ระบบจะทำการรวมคะแนน
ดิบของข้อสอบในแต่ละมิติเทียบกับคะแนนดิบที่กำหนดไว้จากตาราง 2 จากนั้นระบบจะนำไปประมวลผล
เทียบกับคะแนนสเกล และนำไปสู่การวินิจฉัยระดับความสามารถทางวิทยาศาสตร์ในมิตินั้น ๆ ว่าอยู่ในระดับใด
(2) ส่วนวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยมีการวินิจฉัยรายข้อจากการเลือกตอบแต่ละข้อของผู้เรียนและ
การวินิจฉัยทั้งฉบับที่เทียบคะแนนของผู้เรียนกับตาราง 2

1.3 ส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน
จะมีการให้ข้อมูลป้อนกลับจากการทำแบบทดสอบของผู้เรียน ประกอบด้วย (1) มิตติความรู้ ถ้านักเรียนตอบถูก
จะได้รับการป้อนกลับแบบบอกผลการตอบ (Knowledge of Result Feedback: KORF) ซึ่งบอกเพียงถูกหรือผิด
หากนักเรียนตอบผิดจะได้รับการป้อนกลับแบบบางส่วนโดยใช้การชี้แนะ (Partial Directive Feedback: PDF)
ร่วมกับการอธิบายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และ (2) มิตติการให้เหตุผล หากนักเรียนตอบได้คะแนนสูงสุดหรือ
อยู่ในช่วง 2 – 3 คะแนน จะได้รับการป้อนกลับแบบบางส่วนโดยใช้การชี้แนะ และถ้าได้คะแนนน้อยกว่า 2
จะได้รับการป้อนกลับแบบบางส่วนโดยใช้การชี้แนะร่วมกับการอธิบายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังภาพ 5



ภาพ 5 ขั้นตอนการให้ข้อมูลป้อนกลับในมิตินความรู้และมิตินการให้เหตุผล

1.4 ส่วนรายงานผลการประเมิน เป็นการรายงานผลผู้เรียนรายบุคคล จากการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนจะมีการรายงานระดับความสามารถของผู้เรียนในแต่ละมิติตามแผนที่โครงสร้างซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้เรียนทำได้ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งฉบับ ตลอดจนสิ่งที่ผู้เรียนควรพัฒนาต่อไป ประกอบด้วย (1) ข้อมูลส่วนบุคคล (2) ข้อมูลสารสนเทศและสถิติของการวินิจฉัย (3) ข้อมูลจากการวินิจฉัยระดับความสามารถของผู้เรียนในแต่ละมิติตามแผนที่โครงสร้างซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้เรียนทำได้ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งฉบับ และสิ่งที่ผู้เรียนควรพัฒนาต่อไป

อภิปรายผล

1. จากผลการวิเคราะห์การตอบของผู้เรียนในระดับแผนที่โครงสร้าง พบว่า มีความสอดคล้องกับระดับแผนที่โครงสร้าง โดยแผนที่โครงสร้างสามารถแยกระดับความสามารถของผู้เรียนได้อย่างชัดเจน และในมิตินการให้เหตุผลผู้เรียนสามารถตอบได้เกินระดับความสามารถของข้อสอบบางข้อ อาจเนื่องมาจากการให้เหตุผลเป็นการแสดงออกทางความคิดปลายเปิด หรือมีตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับชีวิตประจำวัน เมื่อวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน พบว่าส่วนมากผู้เรียนมีรูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนรายชื่อในรูปแบบมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากภาษา เนื่องจากธรรมชาติของรายวิชาที่มีลักษณะที่เข้าใจยาก เป็นนามธรรม และมีเนื้อหาและคำศัพท์เฉพาะทางวิทยาศาสตร์ (Kerdkliang et al., 2019) นอกจากนี้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถทำนายระดับความสามารถของผู้เรียน ได้แก่ เกรดเฉลี่ยรวม เกรดเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวนชั่วโมงที่ศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง/สัปดาห์ สอดคล้องกับ Gadzella et al. (2002) กล่าวว่า จากการคำนวณสมการถดถอยตัวทำนายเกรดเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือคะแนนการทดสอบจากการวัดและประเมินผล

2. จากผลการออกแบบวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ โดยการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนจากข้อมูลนำเข้า อีกทั้งยังรวบรวมข้อมูลของผู้เรียนเก็บเป็นคลังข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายมากยิ่งขึ้น โดยการ

รวบรวมฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เปรียบเป็นเหมือนสมองให้กับการศึกษา (Nafea, 2018) นวัตกรรมต้นแบบประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (1) ส่วนรับข้อมูล (2) ส่วนประมวลผล (3) ส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ และ (4) ส่วนรายงานผลการประเมิน ซึ่งส่วนที่มีบทบาทที่สำคัญในการวิธีการวินิจฉัยมากที่สุด ได้แก่ (2) ส่วนประมวลผล และ (3) ส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ เนื่องจากส่วนประมวลผล เป็นในการตรวจให้คะแนนแบบทดสอบ หากส่วนนี้ผิดพลาดจะทำให้การวินิจฉัยมโนทัศน์ของผู้เรียนคลาดเคลื่อน ส่งผลต่อการให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ผู้เรียนและรายงานผลต่อผู้เรียนต่อไป และส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติเป็นอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญ โดยการป้อนกลับแบบปรับเหมาะตามระดับความสามารถของผู้เรียนนี้ (adaptive feedback framework) จะสอดคล้องกับคุณลักษณะและความต้องการส่วนบุคคลของผู้เรียนมากขึ้น อีกทั้งทำให้ผู้เรียนได้ทบทวนและพิจารณาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของตนเอง Gouli et al. (2008)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 จากผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ของผู้เรียน พบว่ารูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมาก ได้แก่ รูปแบบความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์และเนื่องจากภาษา ดังนั้น ผู้นำผลวิจัยไปใช้ควรเน้นการสร้างคำถามตัวเลือกแบบเลือกตอบหรือการป้อนกลับผู้เรียนในส่วนของรูปแบบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนดังกล่าว เพื่อแก้ไขหรือพัฒนามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง พันธุศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

1.2 จากการผลการออกแบบนวัตกรรมต้นแบบพบว่า ส่วนที่มีบทบาทที่สำคัญในการวิธีการวินิจฉัยมากที่สุด ได้แก่ (2) ส่วนประมวลผล และ (3) ส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ ดังนั้น ผู้นำผลวิจัยไปใช้ควรทำความเข้าใจกับการกำหนดจุดตัด ระดับความสามารถ คะแนนสเกล คะแนนดิบและระดับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางที่สำคัญในการวินิจฉัยผลการตอบของผู้เรียน อีกทั้งในส่วนให้ข้อมูลป้อนกลับอัตโนมัติ เป็นส่วนที่สำคัญในการแก้ไขมโนทัศน์ของผู้เรียน การกำหนดรูปแบบการป้อนกลับต่างๆ ควรคำนึงความสัมพันธ์กับแผนที่โครงสร้างและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีขั้นตอนในการให้ข้อมูลป้อนกลับแตกต่างกันในมิติความรู้และการให้เหตุผลด้วย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การวิจัยครั้งนี้มีการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบรายข้อที่สามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนจากการเลือกตัวเลือกในแต่ละข้อได้ จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของนวัตกรรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

2.2 เนื่องจากวิธีการวินิจฉัยครั้งนี้ มีการตอบสนองให้แก่ผู้เรียนฝ่ายเดียว ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจมีการออกแบบให้สามารถรับข้อมูลจากผู้เรียนเพิ่มเติมได้ เช่น ข้อเสนอแนะ การเสนอตัวเลือกแต่ละข้อเพิ่มเติมเพื่อให้ระบบหรือผู้พัฒนาสามารถพัฒนาวิธีการวินิจฉัยให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

References

- American Educational Research Association, American Psychological Association & National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for Educational and Psychological Testing*. Standards for Educational and Psychological Testing. The American Educational Research Association
- Adams, R.J., Wilson, M., & Wang, W.C. (1997). The multidimensional random coefficients multinomial logic model. *Applied Psychological Measurement*, 21(1), 1-23.
- Gadzella, B. M., Baloglu, M., & Stephens, R. (2002). Prediction of GPA with Educational psychology grades and critical thinking scores. *Project Innovation (Alabama)*, 122(3), 618-623.
- Gouli, E., Gogoulou, A., & Grigoriadou, M. (2008). Supporting Self- Peer- and Collaborative- Assessment in E-Learning: The Case of the PEer and Collaborative ASSESSment Environment (PECASSE). *Journal of Interactive Learning Research*, 19(4), 615-647.
- Gurel, K. G, Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics. Science & Technology Education*, 11(5).
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Kantahan, S., Junpeng, P., Punturat, S., Tang, K. N., P. Gochyyev., & Wilson, M. (2020). Designing and verifying a tool for diagnosing multidimensional scientific misconceptions in genetics topic. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 9(3), 564-571. <https://doi.org/10.11591/ijere.v9i3.20544>
- Kalas, P., O'Neill, A., Pollock, C., & Birol, G. (2013). Development of a meiosis concept inventory. *CBE Life Sciences Education*, 12(4), 655-664. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-10-0174>
- Ling, T.W. (2017). *Fostering Understanding and Reducing Misconceptions about Image Formation by a Plane Mirror Using Constructivist-Based Hands-On Activities*. Springer.
- Mitchell, T. M. (1997). Does Machine Learning Really Work?. *AI Magazine*, 18(3), 11.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v18i3.1303>
- Mohammed, M., Khan, M.B., and Bashier, E.B.M. (2016). *Machine learning: algorithms and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315371658>

- Nafea, I. (2018). Machine Learning in Educational Technology. *Machine Learning – Advanced Techniques and Emerging Applications*, 175-183. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72906>
- National Research Council. (1997). *Science teaching reconsidered*. National Academies Press.
- Paneaw, S., Junpeng, P., & Tang, K. N. (2021). Designing Standards-Setting for Levels of Mathematical Proficiency in Measurement and Geometry: Multidimensional Item Response Model. *Journal of Education and Learning*, 10(6), 103-111. <https://doi.org/10.5539/jel.v10n6p103>
- Soeharto, S., Csapó, B., Sarimanah, E., Dewi, F.I., and Sabri, T. (2019). A Review of Students' Common Misconceptionss in Science and Their Diagnostic Assessment Tools. *Journal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), 247-266. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.18649>
- Westbrook, S. L., & Marek, E. A. (1992). "A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion". *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 51-61.
- Widiyatmoko, A., & Shimizu, K. (2018). Literature Review of Factors Contributing to Students' Misconceptions in Light and Optical Instruments. *International Journal of Environmental and Science Education*, 13(10), 853-863.
- Wilson, M. (2005). Constructing measures: An item response modeling approach. *Evaluation and Program Planning*, 28(4), 433-434. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2005.07.008>
- Wu, M. L., Adams, R. J., & Wilson, M. R. (2007). *ACER Conquest: Generalized item response modelling software*. ACER.
- Wu, J. Y., Hsiao, Y. C., & Nian, M. W. (2018). Using supervised machine learning on large-scale online forums to classify course-related Facebook messages in predicting learning achievement within the personal learning environment. *Interactive Learning Environments*, 28(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1515085>
- Yarbrough, D. B., Shulha, L. M., Hopson, R. K., & Caruthers, F. A. (2010). *The program Evaluation standards: A guide for evaluators and evaluation users* (3rd Ed.). Sage.
- Zhang, F., Zhang, X., Luo, M., & Geng, H. (2016). *The Effects of Feedback on Memory Strategies of Younger and Older Adults*. PLOS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168896>

Translate Thai References

- Junpeng, P. (2018). *Application of Multidimensional Item Response Theory to Research*. Khon Kaen University Press. (in Thai)
- Junpeng, P., Marwiang, M., Chinjunthuk, S., Suwannatrai, P., Grotha, J., Chanayotha, K., Tawarungruang, C., Thuanman, J., Ngang, T.K., & Wilson, M. R. (2020). *Developing Students' Mathematical Proficiency Level Diagnostic Tools through Information Technology in Assessment for Learning Report*. Thailand Science Research and Innovation. (in Thai)
- Kantahan, S. (2020). *Designing and verifying a tool for diagnosing multidimensional scientific misconceptionss in genetics topic* [Master's thesis]. Khon Kaen University (in Thai)
- Kerdkliang, S., Intasuwan, S., & Wannasuth, N. (2019). Effect of Inquiry Learning Cycle (7E) and Jigsaw Technique on Plants Reproduction and Development Topic to Develop Biological Learning Achievement and Social Skill for Mattayomseuksa 5 Student. *Research and Innovation for Sustainability Development*, 29(29), 1943-1950. (in Thai)
- Masantiah, J. (2017). *Development of A Computer-Based Testing System with Immediate Feedback for Different Student's Ability Levels: Application of Rasch Sirt Model* [Master's thesis]. Chulalongkorn University. (in Thai)
- Paneaw, S. (2021). *Standard Setting of Mathematical Proficiency Level for the Mixed Format Test through Digital Technology* [Master's thesis]. Khon Kaen University. (in Thai)
- Thakho, P., & Termtachatipongsa, P. (2015). The Development of Grade 11 Students' Conception of Photosynthesis using Inquiry-Based Approach Associated with Scaffolding Strategies. *Journal of Education Khon Kaen University*, 38(3), 94-104. (in Thai)
- Varasunun, P. (2011). The Program Evaluation Standards (3rd Ed.) in 2010. *Journal of Research Methodology*, 24(2), 273-278. (in Thai)
- Wongwanich, S. (2017). *Design Research in Education*. Chulalongkorn University Press. (in Thai)