การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและอภิปัญญาโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานรูปแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2

นายวิทวัส หาญดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอก
วิทยาศาสตร์ศึกษา
สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2566

Development of the Concept-Process Model and Metacognition Via FAR Analogy-Based Learning Approach in the Topic of Metabolism Among Second-Year Undergraduates

Mr. WITAWAS HANDEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Education in Science Education

School of Educational Studies

Sukhothai Thammathirat Open University

2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิด กระบวนการ และอภิปัญญาโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานรูปแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2
ชื่อและนามสกุล	นายวิทวัส หาญดี
แขนงวิชา / วิชาเอก	วิทยาศาสตร์ศึกษา
สาขาวิชา	ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	1. รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬารัตน์ ธรรมประทีป
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	2. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬารัตน์ ธรรมประทีป)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา)

..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.นราธิป ศรีราม)

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และอภิปัญญาโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานรูปแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2
ผู้วิจัย นายวิทวัส หาญดี รหัสนักศึกษา 2642000281
ปริญญา: ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา)
อาจารย์ที่ปรึกษา (1) รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2) รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม และ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการกับอภิปัญญาของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2

กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาคือ นักศึกษาชั้นปีที่ 2 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยของรัฐแห่งหนึ่ง จำนวน 137 คน ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเคมีพื้นฐาน ปีการศึกษา 2566 ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และแบบวัดอภิปัญญา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความก้าวหน้าทางการเรียน การทดสอบค่าที และการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของนักศึกษามีการพัฒนาขึ้น โดยมีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนที่ 16.5% ผลการวิเคราะห์ทางสถิติก่อนและหลังทำกิจกรรมพบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของคะแนนการทดสอบ (Z= 6.277, p<.001, *effect size* =0.663) นอกจากนี้ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนแสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนกับอภิปัญญาในด้านการใช้กลยุทธ์การจัดการข้อมูล (IMS) (rs(117)=.204, p=.026) และกลยุทธ์การแก้ไขข้อบกพร่อง (DS) (rs(117)=.198, p=.031) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการผนวกวิธีการพัฒนาอภิปัญญาเข้าไปในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

คำสำคัญ แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR อภิปัญญาอุดมศึกษา

Thesis title: Development of the Concept-Process Model and Metacognition Via FAR Analogy-Based Learning Approach in the Topic of Metabolism Among Second-Year Undergraduates

Researcher: Mr. WITAWAS HANDEE; ID: 2642000281;

Degree: Master of Education (Science Education);

Thesis advisors: (1) Dr. Jurarat Thammaprateep, Associate Professor;(2) Dr. Duongdearn Suwanjinda, Associate Professor ; Academic year: 2023

Abstract

This study aims to compare students' ability to develop concept-proce models before and after learning through the instruction using FAR (Focus, Actic Reflection) analogy-based learning in the topic of metabolism and to analyze tl relationship between concept-process model ability and the metacognition of secon year undergraduate students.

The sample group consisted of 137 second-year undergraduate studer from the Faculty of Engineering and Industrial Technology at a public universi enrolled in a basic chemistry course during the 2023 academic year. A cluster randc sampling method was used to select participants. The research instruments includec FAR-based analogical learning instructional plan on metabolism, an assessment process conceptual modeling skill, and a Metacognitive Awareness Inventory (MAI). Da analysis was conducted using learning progress assessment, t-tests and Spearmar correlation coefficient analysis.

The results revealed an improvement in students' ability to develc concept-process models, with a learning progress rate of 16.5%. Statistical analy before and after the activities indicated a significant increase in test scores (Z = 6.27 p < .001, *effect size* = 0.663). Furthermore, Spearman's correlation analy demonstrated a positive relationship between learning gains and metacogniti strategies, specifically Information Management Strategies (IMS) (rs(117) = .204, p = .02 and Debugging Strategies (DS) (rs(117) = .198, p = .031). The findings of this stu underscore the importance of integrating metacognitive skill development into scien education, particularly in the enhancement of concept-process model developmer These models serve as crucial tools for improving students' learning outcomes science education, offering a structured approach to complex scientific concepts ar processes.

Keywords : Concept-process model; FAR analogy-based learning; Metacognition; Metabolism

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้อาจไม่สำเร็จลุล่วงได้ หากขาดความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. จุฬารัตน์ ธรรมประทีป ที่ช่วยให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหา และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จขึ้นได้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา และคณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ช่วยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.วิสูตรโพธิเงิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร. ดร.ธนพล เจริญวงษ์ไพบูล และ อาจารย์ ดร.ชนากานต์ ทองสุข ที่ช่วยตรวจและให้คำแนะนำเครื่องมือวิจัย รวมถึงอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวและผองเพื่อนที่ช่วยสนับสนุนแรงใจจนตลอดรอดฝั่ง

นายวิทวัส หาญดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์การวิจัย 6
กรอบแนวคิดการวิจัย 7
สมมติฐานการวิจัย 8
ขอบเขตของการวิจัย 8
นิยามศัพท์เฉพาะ 8
ประโยชน์ที่จะได้รับ 9
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 11
ความท้าท้ายในการเรียนการสอนหัวข้อเมแทบอลิซึมในวิชาชีวเคมี 11
แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-Process Model) 15
การสอนโดยการเปรียบเทียบเป็นฐาน (Analogy-based Learning) แบบ FAR 19
อภิปัญญา (Metacognition) 26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 31
ระเบียบวิธีวิจัย 32
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 32
การเก็บรวบรวมข้อมูล 39
การวิเคราะห์ข้อมูล 39
การรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ 41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม 43
ตอนที่ 2 ผลศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และระดับอภิปัญญา ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ หลังเรียนโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม 49
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 54
สรุปการวิจัย 54
อภิปรายผล 57
ข้อเสนอแนะ 59
บรรณานุกรม 60
ภาคผนวก 69
ก แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม 70
ข แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ 83
ค แบบวัดอภิปัญญา 105
ง หนังสือรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ 114
จ ผลการตรวจสอบข้อตกลงของการทดสอบสหสัมพันธ์ 116
ประวัติผู้วิจัย 120

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างหลักระหว่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ 17
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบแบบต่าง ๆ 23
ตารางที่ 3.1 ลำดับขั้นในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ 33
ตารางที่ 3.2 แผนการสอนในการวิจัย 34
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของแบบวัดอภิปัญญา 38
ตารางที่ 4.1 ค่าสถิติพรรณนาของคะแนนความสามารถในการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ 43
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนด้วยการทดสอบ Paired Sample T-Test 45
ตารางที่ 4.3 คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการรายข้อก่อนและหลังทำกิจกรรม 46
ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนรายข้อด้วยการทดสอบ Wilcoxon signed-rank 47
ตารางที่ 4.5 ค่าระดับอภิปัญญาของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี 50
ตารางที่ 4.6 ค่าปรับช่วงข้อมูลของระดับอภิปัญญาของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี 50
ตารางที่ 4.7 จำนวนผู้เรียนที่แจกแจงตามเกณฑ์คุณภาพของอภิปัญญา 51
ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนระหว่างระดับอภิปัญญาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ 52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย 7

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนเรียน ก) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีลำดับที่ถูกต้อง ข) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่ไม่ได้แสดงการเข้าจับของตัวยับยั้ง ค) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีตัวยับยั้ง แต่ไม่ได้แสดงผลกระทบของกลไกที่เกิดขึ้น ง) แผนภาพการเกิด Shuttle mechanism ที่ไม่สมบูรณ์ 48

ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียน ก-ข) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีลำดับที่ถูกต้อง สมบูรณ์ และมีการแสดงกลไกการทำงานของตัวยับยั้งและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระบวนการที่เกิดขึ้น ค-ง) แผนภาพการเกิด Shuttle mechanism ที่สมบูรณ์และแสดงการยับยั้งของกระบวนการในระบบ 49

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิชาชีวเคมีเป็นวิชาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในหลายสาขาวิชาชีพ เช่น การแพทย์ เทคโนโลยีอาหาร และเทคโนโลยีชีวภาพ (Floros et al., 2010; Tibell & Rundgren, 2010) เนื้อหาในวิชานี้ครอบคลุมถึงกลไกทางชีวภาพในระดับโมเลกุล ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของสิ่งมีชีวิตในระดับเซลล์ อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักที่พบในการเรียนการสอนวิชาชีวเคมีคือ นักเรียนมักจะมีปัญหาในการทำความเข้าใจกลไกและกระบวนการต่าง ๆ เนื่องจากกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้เกิดความยากลำบากในการเชื่อมโยงความรู้เชิงทฤษฎีกับการทำงานจริงของโมเลกุลภายในเซลล์ (Morales et al., 2017; Roth, & Bowen, 2018)

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของเอนไซม์หรือปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ เช่น วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) หรือกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน เป็นตัวอย่างที่ดีที่แสดงถึงความซับซ้อนและเป็นนามธรรมของวิชานี้ ในกรณีของวัฏจักรเครบส์ การที่นักเรียนจะเข้าใจได้ว่าพลังงานถูกสร้างขึ้นอย่างไรในระดับโมเลกุลนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงปฏิกิริยาทางเคมีหลายขั้นตอน หลักทางอุณหพลศาสตร์ รวมถึงการควบคุมของเอนไซม์ในปฏิกิริยา ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนส่วนใหญ่พบว่ายากต่อการจินตนาการ (Morales et al., 2017; Spicer et al., 2018)

วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการใช้สื่อการเรียนการสอนที่สามารถช่วยให้นักเรียนมองเห็นหรือเข้าใจภาพรวมได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น การสร้างโมเดลสามมิติของโมเลกุลหรือเอนไซม์ในคอมพิวเตอร์เพื่อให้นักเรียนสามารถหมุนดูและเข้าใจโครงสร้างทางเคมีได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality) ยังเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่เริ่มได้รับความนิยมในการศึกษา เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าสู่ภายในโครงสร้างโมเลกุลและเห็นการเกิดปฏิกิริยาในมุมมองที่เสมือนจริง (Barrow et al., 2024) การเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เป็นพบได้ทั่วไป เช่น การเปรียบการทำงานของเอนไซม์เหมือนกับการทำงานของกุญแจและแม่กุญแจ เป็นวิธีการที่ช่วยให้เห็นภาพการทำงานที่ง่ายขึ้น กล่าวโดยภาพรวม จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการใช้สื่อการสอนที่ทำให้นักเรียนเห็นภาพและเข้าใจการทำงานของโมเลกุลในระดับที่ลึกซึ้งขึ้น จะช่วยแก้ไขปัญหาที่นักเรียนมักจะพึ่งพาการท่องจำแทนความเข้าใจจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Thompson, 2021)

การเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้การเปรียบเทียบ หรือ การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐาน (Analogy-Based Learning) เป็นแนวทางการเรียนการสอนที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ในการถ่ายทอดแนวคิดที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรมทางวิทยาศาสตร์ การใช้การเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนเหล่านั้นได้ง่ายขึ้น โดยการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ากับสิ่งที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวัน (Richland & Simms, 2015) ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบ (Analogy) โครงสร้างของอะตอมกับระบบสุริยะ ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจถึงการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสได้อย่างง่ายดาย เนื่องจากผู้เรียนสามารถจินตนาการถึงดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นการนำเสนอแนวคิดที่คุ้นเคยเพื่อสร้างการเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างแนวคิดนามธรรมกับสิ่งที่พบเห็นได้ในชีวิตจริง (Treagust, Duit & Fischer, 2016)

การเปรียบเทียบแบบอุปมาหรือ Analogy เป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปในหนังสือเรียนวิชาชีวเคมี และจากงานวิจัยพบว่าการเปรียบเทียบถูกใช้ในหนังสือเรียนวิชาชีวเคมีบ่อยกว่าที่พบในหนังสือเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปหรือวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษา (Orgill & Bodner, 2006) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยโดย Brown & Salter (2010) พบว่าการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพเนื่องจากส่วนใหญ่มักขาดการอธิบายประกอบที่ไม่เพียงพอ หรือขาดการเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างสิ่งที่เปรียบเทียบและเป้าหมายที่ต้องการ จนอาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดเมื่อนักเรียนตีความความหมายของสิ่งที่เปรียบเทียบเกินจริง (Brown & Salter, 2010)

เพื่อแก้ไขปัญหาการสอนโดยการเปรียบเทียบที่มักนำไปสู่ความเข้าใจผิดของผู้เรียน ได้มีนักการศึกษาเสนอวิธีการนำการเรียนรู้โดยการเปรียบเทียบไปใช้งานหลายรูปแบบ โดย Harrison และ Treagust (2000) รวมถึง Treagust, Harrison และ Venville (1998) ได้เสนอการใช้แบบจำลองการเรียนรู้แบบ FAR (Focus, Action, Reflection) ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนผ่านการใช้การเปรียบเทียบ โดยขั้นตอนของแบบจำลองนี้ถูกออกแบบมาเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะในวิชาที่มีลักษณะนามธรรม เช่น ชีวเคมีหรือฟิสิกส์ โดยมีลำดับขั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1) การสร้างจุดสนใจ (Focus) ขั้นตอนแรกของการใช้ระบบ FAR คือการสร้างจุดสนใจหรือการเน้นแนวคิดที่สำคัญให้กับผู้เรียน ในบริบทนี้ ครูจะต้องเลือกแนวคิดที่มีความซับซ้อนและต้องการการเชื่อมโยงกับสิ่งที่ผู้เรียนคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น เมื่อครูต้องการสอนเกี่ยวกับการไหลของกระแสไฟฟ้า ครูอาจเริ่มด้วยการนำเสนอภาพการไหลของน้ำในท่อ ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้เรียนเข้าใจได้ง่าย การเชื่อมโยงนี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างภาพในใจและมีความสนใจในเนื้อหาที่จะเรียนรู้ (Harrison & Treagust, 2000) ขั้น 2) การลงมือปฏิบัติ (Action) คือการลงมือปฏิบัติ ซึ่งเป็นการนำการเปรียบเทียบที่ได้กล่าวมาใช้จริงในกระบวนการเรียนรู้ โดยในการลงมือปฏิบัติ ครูจะให้ผู้เรียนได้สำรวจและทดลองเกี่ยวกับ

แนวคิดผ่านการเปรียบเทียบนี้ ตัวอย่างเช่น ในการสอนชีวเคมีเรื่องเอนไซม์ ครูอาจให้นักเรียนได้ใช้โมเดลกุญแจและแม่กุญแจมาเปรียบเทียบกับการทำงานของเอนไซม์และสารตั้งต้น เพื่อให้นักเรียนได้เห็นถึงความเฉพาะเจาะจงของการจับคู่ระหว่างเอนไซม์และสารตั้งต้น (Treagust, Harrison & Venville, 1998) การทำกิจกรรมนี้จะช่วยให้นักเรียนไม่เพียงแค่จินตนาการภาพได้ แต่ยังช่วยสร้างความเข้าใจในเชิงลึกมากขึ้นเกี่ยวกับแนวคิดนามธรรมที่ซับซ้อนเหล่านี้ และขั้น 3) การสะท้อนคิด (Reflection) เป็นการให้นักเรียนได้ทบทวนและเชื่อมโยงความเข้าใจของตนเองหลังจากที่ได้ทำกิจกรรมหรือทดลองมาแล้ว โดยในขั้นตอนนี้ ครูจะกระตุ้นให้นักเรียนสะท้อนคิดว่า การเปรียบเทียบที่ใช้สามารถช่วยให้เข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนได้ดีขึ้นอย่างไร ตัวอย่างเช่น หลังจากที่นักเรียนได้เปรียบเทียบระหว่างการไหลของกระแสไฟฟ้ากับการไหลของน้ำในท่อแล้ว ครูอาจตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนได้วิเคราะห์ว่า อะไรที่ทำให้การเปรียบเทียบนี้ช่วยให้เข้าใจหลักการของกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น การสะท้อนคิดนี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถประมวลผลและเสริมสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องได้ดียิ่งขึ้น (Harrison & Treagust, 2000; Aktamıs, 2012)

การเปรียบเทียบยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเรียนรู้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการสร้างแบบจำลองหรือโมเดลทางวิทยาศาสตร์ โดยปกติแล้วการสอนวิทยาศาสตร์มักใช้การเปรียบเทียบเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดเนื้อหาที่ซับซ้อน แต่แนวคิดในปัจจุบัน เริ่มมีการเพิ่มเติมแนวคิดของการใช้การเปรียบเทียบเพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้เหตุผลและวิเคราะห์แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Seiler & Huggins, 2018) การปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์นี้ หรือที่เรียกว่า "Conceptual change" มีการนำตัวเปรียบเทียบมาใช้เป็นเครื่องมือในการกระตุ้นการคิดเชิงวิเคราะห์และการเชื่อมโยงแนวคิดต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างโลกทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และโลกทัศน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างชัดเจนและลึกซึ้ง

การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific modeling) มีพื้นฐานมาจากการสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบหรืออะนาล็อก (Analogy modeling) เนื่องจากในทางวิทยาศาสตร์มีการใช้ตัวแทนเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงนามธรรมทั้งในระดับจุลภาคและมหัพภาค เช่น โมเลกุลที่มีการสร้างพันธะระหว่างหลายอะตอม อาจใช้ลูกบอลกับไม้ที่เชื่อมต่อกันเป็นอะนาล็อก เป็นต้น (Sarıtaş, Özcan, & Adúriz-Bravo, 2021) โดย Harrison & Treagust (1998) ได้แบ่งแบบจำลอง (Model) ออกเป็น 8 ประเภท ได้แก่ 1) Scale models 2) Pedagogical analogical models 3) Abstract models 4) Mathematical models 5) Theoretical models 6) Description of models as multi-concepts and processes 7) Concept-process models และ 8) Simulations โดยในงานวิจัยนี้มุ่งความสนใจไปที่ Concept-process models หรือแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่สอดคล้องกับเนื้อหาในวิชาชีวเคมี และเป็นรูปแบบจำลองมีความซับซ้อนสูง

แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-process models) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการแสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง มากกว่าการเป็นตัวแทนของวัตถุเพียงอย่างเดียว (Harrison & Treagust, 1998) ซึ่งแบบจำลองนี้มุ่งเน้นที่การอธิบายพลวัตของการเปลี่ยนแปลง โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และมักถูกจำลองผ่านสัญลักษณ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี หรือการสะท้อนของแสง การพัฒนาและการเข้าใจแบบจำลองนี้จำเป็นต้องพึ่งพาหลักการของการเปรียบเทียบ (Analogy) เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดนามธรรมกับสิ่งที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบในปัจจุบันคือ นักเรียนหลายคนยังขาดทักษะในการสร้างและทำความเข้าใจแบบจำลองแนวคิดกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ นักเรียนมีปัญหาในการนำแบบจำลองไปใช้ในการอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ เพราะขาดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ทางความคิด (Conceptual change) จากการรับรู้สิ่งที่สังเกตเห็นในชีวิตจริงไปสู่การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Driver et al., 1994)

การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองแนวคิดกระบวนการช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงโครงสร้างและการทำงานของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ดีขึ้น (Gobert & Buckley, 2000) การสร้างแบบจำลองช่วยให้ผู้เรียนสามารถจัดการกับข้อมูลเชิงซับซ้อนได้โดยการทำให้สิ่งที่มองไม่เห็นในระดับโมเลกุลหรือกระบวนการที่เป็นนามธรรมกลายเป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจได้มากขึ้น นอกจากนี้ ทักษะนี้ยังเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการสร้างความเข้าใจในเชิงลึกเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Chiu & Lin 2019) ตัวอย่างเช่น ความเข้าใจของการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในอะตอม ที่ผู้เรียนต้องเข้าใจทั้งแบบจำลองในเชิงสัญลักษณ์และการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในสภาวะที่แตกต่างกัน เป็นต้น

การฝึกฝนและพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการยังเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนในแง่ของการส่งเสริมการคิดเชิงเหตุผลและการวิพากษ์วิจารณ์ ตัวอย่างเช่น การสร้างแบบจำลองของการเกิดปฏิกิริยาเคมี นักเรียนจะต้องเข้าใจถึงปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ซึ่งการสร้างแบบจำลองช่วยให้นักเรียนเห็นถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและสามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ของปฏิกิริยาได้ (Justi & Gilbert, 2000) นอกจากนี้ การใช้แบบจำลองยังช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน เช่น การถ่ายโอนพลังงาน การสร้างโครงสร้างทางชีวภาพ หรือการสังเคราะห์โปรตีน (Justi & Gilbert, 2002)
ทำให้นักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการจึงเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพราะไม่เพียงแต่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนได้ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมให้

เกิดการเรียนรู้ที่มีความยั่งยืนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chiu & Lin 2019)

มีการค้นพบว่าอภิปัญญา (Metacognition) เป็นหนึ่งที่จะช่วยเสริมการสร้างแบบจำลองของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ Mason (1994) พบถึงบทบาทความสำคัญของการตระหนักรู้เชิงอภิปัญญา (Metacognitive awareness) ในการสนับสนุนความสามารถของนักเรียนในการควบคุมและบูรณาการความรู้ใหม่ นักเรียนที่มีการตระหนักรู้เชิงอภิปัญญาสูงสามารถระบุสิ่งที่ขาดไปในความรู้ของตนเอง รับรู้ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และปรับความเชื่อของตน โดยในงานวิจัยนี้พบว่าในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ประยุกต์ใช้การให้เหตุผลจากการเปรียบเทียบในหัวข้อ ระบบไหลเวียนโลหิต พบความสัมพันธ์ของการใช้ตัวเปรียบเทียบเพื่อช่วยเหลือผู้เรียนผ่านขั้นตอนเริ่มต้นของการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เป็นนามธรรม และใช้อภิปัญญาเพื่อการกำกับตนเองและการบูรณาการแนวคิดใหม่ ซึ่งมีความสำคัญต่อการสร้างแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้อง (Mason, 1994; Kritikos & Dimitracopoulou, 2014) ในทำนองเดียวกัน Papaevripidou, Constantinou & Zacharia (2007) เน้นว่าผู้เรียนที่กำกับตนเองไม่เพียงต้องการทักษะทางปัญญาเท่านั้น แต่ยังต้องการความรู้เชิงอภิปัญญาเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลองด้วย ผู้ที่มีความสามารถเชิงอภิปัญญาที่พัฒนาดีจะกำกับการเรียนรู้ของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและบรรลุความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ลึกซึ้งขึ้น Louca & Zacharia (2012) โต้แย้งเพิ่มเติมว่าการสร้างแบบจำลองที่ประสบความสำเร็จในวิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับการมีส่วนร่วมทั้งด้านปัญญาและอภิปัญญา การจัดเรียงทักษะเหล่านี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการศึกษาชีวเคมีโดยส่งเสริมวิธีการสะท้อนคิดในการทำความเข้าใจแบบจำลองทางชีวเคมี (Hidayat et al., 2021)

อภิปัญญา (Metacognition) เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความสนใจ การวางแผนและการแก้ปัญหาในขณะที่กำลังเรียน หรือเป็นส่วนหนึ่งของประเมินขณะเรียนรู้ (Assessment as learning) โดยผู้เรียนที่มีทักษะทางอภิปัญญาสูงจะสามารถควบคุมตนเองในการวางแผนการเรียนและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยบางงานวิจัยพบว่าผู้เรียนที่มีความตระหนักรู้ทางอภิปัญญา (Metacognitive awareness) จะมีความสามารถในการสะท้อนคิดความคิดผ่านการเปรียบเทียบ (Analogical reflection) ได้ดี (Kritikos & Dimitracopoulou, 2014) และทักษะการสร้างแบบจำลองมีความสอดคล้องกับอภิปัญญาของผู้เรียน (Hidayat, et al., 2021)

อย่างไรก็ตาม ยังคงมีช่องว่างทางวิจัย (Research gap) ที่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์เชิงลึกระหว่างการพัฒนาทักษะอภิปัญญาและการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาที่มีลักษณะซับซ้อนและเป็นนามธรรม แม้จะมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าผู้เรียนที่มีความตระหนักรู้ทางอภิปัญญาจะมีทักษะในการสะท้อนคิดและประเมินผล การเรียนรู้ได้ดีกว่าผู้ที่ขาดทักษะนี้ (Kritikos & Dimitracopoulou, 2014) แต่การศึกษาที่เจาะลึกถึง

บทบาทของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการในการกระตุ้นและส่งเสริมอภิปัญญายังมีไม่เพียงพอ จากการศึกษาในอดีตเราทราบว่าผู้เรียนที่มีความตระหนักรู้ทางอภิปัญญาสูงจะสามารถจัดการกับการเรียนรู้และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี (Hidayat et al., 2021) แต่ว่าคำถามที่ยังคงรอการตอบคือ อภิปัญญามีความสัมพันธ์อย่างไรกับการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และการนำวิธีการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบ (Analogy-based learning) จะมีผลต่อการพัฒนาอภิปัญญาในบริบทของการเรียนรู้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการมากน้อยเพียงใด

เมแทบอลิซึม เป็นหนึ่งในหัวข้อทางชีวเคมีที่มักไม่ได้รับการศึกษาอย่างลึกซึ้งในการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง (Lang & Bodner, 2020) ดังนั้นหัวข้อเมแทบอลิซึมจึงเหมาะสมที่จะเลือกมาใช้ในการศึกษา นอกจากนี้ โดยธรรมชาติของเนื้อหาในวิถีเมแทบอลิซึมมีลักษณะเป็นพลวัตและมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้น เช่น ไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ จึงเหมาะต่อการนำการสอนโดยการเปรียบเทียบแบบ FAR มาใช้ในการพัฒนาการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของผู้เรียน และใช้ในการศึกษาบทบาทของอภิปัญญาที่อาจมีส่วนร่วมในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการในเมแทบอลิซึม

ดังนั้น งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาว่าการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR จะสามารถพัฒนาการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการภายใต้บริบทของอภิปัญญาที่เข้ามามีส่วนร่วมได้อย่างไร โดยสนใจไปใช้ในวิชาชีวเคมี หัวข้อ เมแทบอลิซึม โดยการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกที่ส่งเสริมการพัฒนาอภิปัญญาผ่านการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเรียนรู้และการสอนชีวเคมีหรือสาขาอื่น ๆ ทางวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม

2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และระดับอภิปัญญา ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ หลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาว่า การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR (FAR analogy-based learning) สามารถส่งเสริมการพัฒนาแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-process models) ในวิชาชีวเคมี โดยเฉพาะในเรื่อง เมแทบอลิซึม (Metabolism) ได้หรือไม่ และสำรวจว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาอภิปัญญา (Metacognition) ของผู้เรียนในกระบวนการนี้อย่างไร

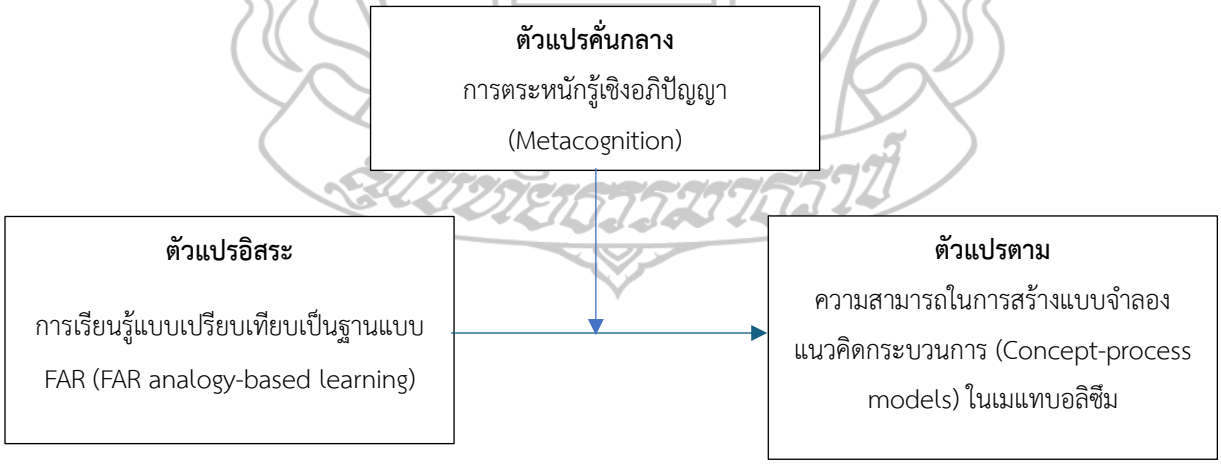
ตัวแปรในกรอบแนวคิดงานวิจัย

3.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ได้แก่ การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR (FAR analogy-based learning)

3.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ ความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-process models) ในเมแทบอลิซึม

3.3 ตัวแปรคั่นกลาง (Mediating Variable) ได้แก่ การตระหนักรู้เชิงอภิปัญญา (Metacognitive awareness) ซึ่งรวมถึงการวางแผน การติดตาม และการสะท้อนคิด โดยใช้หลักการของ Schraw & Dennison, (1994) โดยสนใจและแบ่งการตระหนักรู้ทางอภิปัญญาออกเป็น 8 องค์ประกอบย่อย

กรอบแนวคิดงานวิจัยสามารถแสดงออกมาเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

4. สมมติฐานการวิจัย

4.1 การสอนโดยใช้วิธีวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR สามารถพัฒนาการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียนได้

4.2 การสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและระดับอภิปัญญาของผู้เรียนหลังจากเรียนด้วยวิธี FAR Analogy-Based Learning มีความสัมพันธ์เชิงบวกกัน

5. ขอบเขตของการวิจัย

5.1 งานวิจัยสนใจการแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในส่วนของวิชาชีวเคมี เรื่อง เมแทบอลิซึม ได้แก่ 1) หลักการพื้นฐานทางเมแทบอลิซึม (Basic Concepts of Metabolic pathways) 2) การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron carriers) และ 3) ระบบขนส่งโมเลกุล (Shuttle mechanism)

5.2 งานวิจัยสนใจศึกษาอภิปัญญาของผู้เรียนในแง่ของการตระหนักรู้เชิงอภิปัญญา โดยใช้ แบบวัดอภิปัญญา ที่พัฒนาโดย Schraw & Dennison, (1994) โดยแบ่งออกเป็น 8 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (Declarative knowledge) ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (Procedural knowledge) ความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทำงานให้สำเร็จ (Conditional knowledge) การวางแผน (Planning) กลยุทธ์การจัดการข้อมูล (Information management strategies) การกำกับความเข้าใจ (Comprehension monitoring) กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging strategies) และ การประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้ (Evaluation)

5.3 ขอบเขตของเวลาในการศึกษาคือ เทอมปลาย ปีการศึกษา 2566 ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2566 - มีนาคม 2567

5.4 ขอบเขตของประชากร ประชากรคือนักศึกษาที่เรียนวิชาชีวเคมีพื้นฐานและชีวเคมี 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะวิทยาศาสตร์ จำนวนประมาณ 500 คน

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

6.1 การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐาน (Analogy-based learning) คือการจัดประสบการณ์การเรียนรู้ที่นำตัว Analogy มาช่วยพัฒนาความคิด ดึงความสนใจ หรือถ่ายโอนความรู้

จากแหล่งที่มาที่คุ้นเคย ไปยังเป้าหมายที่ไม่คุ้นเคย เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่ลุ่มลึกมากขึ้น (Brown and Salter, 2010) โดยตัวเปรียบเทียบแบบ Analogy เป็นการเปรียบเทียบบนฐานของความเหมือนและความต่างระหว่างสิ่งที่คุ้นเคยกับไม่คุ้นเคย

6.2 แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-Process Model) เป็นการสร้างแบบจำลองเชิงแนวคิดที่ผนวกกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ (Process) ในแต่ละสาขาวิชา โดยแบบจำลองจะมีการเน้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่จะเป็นเพียงแค่จำลองสภาพวัตถุที่อยู่นิ่ง เป็นการขยายกรอบแนวคิดเชิงนามธรรมของแบบจำลองที่มีพลวัตของการเปลี่ยนแปลงให้เข้ากับสถานการณ์จริง ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเชิงทฤษฎี (Concept) และลำดับขั้นตอนหรือกลไก (Process) ที่อยู่ภายใต้ปรากฏการณ์ต่าง ๆ

6.3 อภิปัญญา (metacognition) หมายถึงความสามารถในการทำความเข้าใจในสิ่งที่ตนเองคิด หรือ “การคิดเกี่ยวกับความคิด (Thinking about thinking)” ซึ่งถึงเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมทั้งความคิดและพฤติกรรมของผู้เรียนให้สามารถนำพาตนเองไปสู่เป้าหมายได้ โดยอภิปัญญาประกอบด้วย 3 องค์ประกอบด้วยกันคือ ความรู้ทางอภิปัญญา ทักษะทางอภิปัญญา และประสบการณ์ทางอภิปัญญา โดยอภิปัญญาหมายถึงความสามารถของผู้เรียนในการกำกับควบคุมความคิดและการกระทำของตนเอง ซึ่งหมายรวมถึงความรู้ความเข้าใจตนเอง ควบคุมดูแลตนเอง และประเมินศักยภาพและผลงานของตนเองได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับสถานการณ์ โดยผ่านการอาศัยประสบการณ์ สัญชาติญาณ และการครุ่นคิดอย่างสมเหตุสมผล เพื่อให้การเรียนและการทำงานที่ได้รับมอบหมายประสบความสำเร็จและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

7. ประโยชน์ที่จะได้รับ

7.1 การเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแบบ FAR จะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับความรู้เดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเปลี่ยนแปลงแนวคิดจากสิ่งที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวันมาสู่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเมแทบอลิซึมในวิชาชีวเคมีอย่างเป็นระบบมากขึ้น

7.2 ผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางการพัฒนาวิธีการสอนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในวิชาชีวเคมี โดยการใช้การเปรียบเทียบแบบ FAR และความสามารถในการใช้อภิปัญญาสามารถนำไปใช้ปรับปรุงหลักสูตรและวิธีการสอนในหัวข้อหรือวิชาอื่น ๆ ได้

7.3 งานวิจัยนี้จะเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้แบบจำลอง แนวคิดกระบวนการและอภิปัญญาในวิชาอื่น ๆ หรือในบริบทอื่น ๆ ของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในอนาคต

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ความท้าท้ายในการเรียนการสอนหัวข้อเมแทบอลิซึมในวิชาชีวเคมี

1.1 ความท้าทายของวิชาชีวเคมี

ชีวเคมีเป็นศาสตร์พื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ โดยมีความเกี่ยวข้องอย่างกว้างขวางในหลายสาขา เช่น แพทยศาสตร์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคโนโลยีอาหาร และอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ (Floros et al., 2010; Tibell & Rundgren, 2010) ความสำคัญของชีวเคมีนั้นอยู่ที่การอธิบายกระบวนการทางโมเลกุลและปฏิริยากับสารเคมีที่ควบคุมระบบของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด หลักการของชีวเคมีเป็นรากฐานของความก้าวหน้าในวิทยาศาสตร์การแพทย์ เช่น การค้นพบยา การวินิจฉัยโรค และการแพทย์เฉพาะบุคคล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำความเข้าใจกระบวนการของโรค เช่น มะเร็ง เบาหวาน และโรคทางพันธุกรรม นอกจากนี้ ชีวเคมียังมีบทบาทสำคัญในเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ที่เปลี่ยนแปลงในภาคการเกษตร พลังงาน และอุตสาหกรรม ส่วนในด้านเทคโนโลยีอาหาร ชีวเคมีช่วยให้เข้าใจถึงองค์ประกอบทางอาหาร คุณค่าทางโภชนาการ และความปลอดภัยของอาหาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ดีต่อสุขภาพและยั่งยืนมากขึ้น จะเห็นได้ว่าการเรียนการสอนวิชาชีวเคมีที่มีประสิทธิภาพนั้นนับเป็นองค์ประกอบสำคัญของอาชีพ ความก้าวหน้าและการสร้างนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ (Floros et al., 2010; Tibell & Rundgren, 2010)

อย่างไรก็ตาม แม้ชีวเคมีจะมีความสำคัญอย่างยิ่งและมีการประยุกต์ใช้ที่กว้างขวาง การศึกษาในวิชาชีวเคมีกลับเต็มไปด้วยความท้าทายสำหรับทั้งผู้สอนและผู้เรียน เนื่องจากเนื้อหามีความเป็นนามธรรมและซับซ้อน (Morales et al., 2017; Spicer et al., 2018) แนวคิดทางชีวเคมี เช่น จลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ เส้นทางเมแทบอลิซึม สัญญาณโมเลกุล และความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับหน้าที่ของโปรตีน มักเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุลซึ่งผู้เรียนไม่สามารถมองเห็นกลไกเหล่านี้ได้ด้วยตาเปล่า ทำให้นักเรียนยากที่จะจินตนาการและเข้าใจหลักการพื้นฐาน ยิ่งไปกว่านั้น ระบบชีวเคมีแสดงรูปแบบความซับซ้อนที่มีความเชื่อมโยงกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบหนึ่งสามารถส่งผลกระทบไปยังทั้งระบบได้อย่างไม่เป็นเชิงเส้นและไม่ตรงไปตรงมา ความซับซ้อนเหล่านี้สามารถทำให้นักเรียนเกิดความสับสนและเกิดภาระทางปัญญา (Cognitive load) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องเชื่อมโยงปรากฏการณ์ในระดับมหภาค เช่น

กระบวนการทางสรีรวิทยา โรคที่เกิดจากเมแทบอลิซึมที่ผิดปกติ เป็นต้น (Spicer et al., 2018; Lena & Carl-Johan, 2010)

เนื่องด้วยความท้าทายเหล่านี้ นักเรียนจำนวนมากมักประสบปัญหาในการเข้าใจกลไกและรูปแบบต่าง ๆ ในระบบชีวเคมี แทนที่จะพัฒนาความเข้าใจอย่างเป็นระบบ นักเรียนมักพึ่งพาการท่องจำเพื่อจัดการกับปริมาณเนื้อหาและคำศัพท์จำนวนมาก ปัญหานี้เห็นได้ชัดเจนในหัวข้อ เช่น เส้นทางเมแทบอลิซึม ซึ่งนักเรียนมักท่องจำปฏิกิริยาลำดับโดยไม่เข้าใจถึงหลักการและการควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้อง (Grove & Bretz, 2012) ตัวอย่างเช่น วัฏจักรของกรดซิตริกหรือกระบวนการไกลโคไลซิส มักถูกสอนให้ท่องจำชื่อเอนไซม์และสารมัธยันต์ ทำให้นักเรียนขาดความเชื่อมโยงของบทบาทและหน้าที่ของกระบวนการเหล่านี้ทั้งในด้านการเผาผลาญพลังงาน การรักษาสมดุล และการส่งสัญญาณในระดับเซลล์ การท่องจำแบบผิวเผินนี้ถึงแม้จะช่วยให้จดจำได้ในระยะสั้น แต่กลับเป็นอุปสรรคต่อการคิดเชิงวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริง ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับความสำเร็จในสายอาชีพวิทยาศาสตร์ (Spicer et al., 2018; Grove & Bretz, 2012)

เพื่อการแก้ไขปัญหาด้านการเรียนรู้เหล่านี้ ได้มีการสำรวจหาวิธีการเรียนการสอนที่ส่งเสริมความเข้าใจเนื้อหาและแนวคิดเชิงลึก หลายการศึกษาพบว่าการวิธีการสอนที่เน้นการเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) เช่น การใช้เทคนิคช่วยการมองเห็น หรือการเพิ่มทักษะการคิดเชิงระบบ (systems thinking) สามารถช่วยให้นักเรียนเพิ่มกระบวนการทางปัญญาที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Lena & Carl-Johan, 2010) ตัวอย่างเช่น การใช้ซอฟต์แวร์การแสดงผลโมเลกุลแบบ 3 มิติ ช่วยให้นักเรียนมองเห็นภาพและสามารถโต้ตอบและปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งช่วยเพิ่มความเข้าใจในเชิงพื้นที่ของแนวคิดเหล่านี้ (Barrow et al., 2024; Kirkwood, & Price, 2014) นอกจากนี้ การเรียนรู้ผ่านปัญหา (PBL) และกรณีศึกษา ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนวิเคราะห์แนวคิดชีวเคมีในบริบทของสถานการณ์จริง เช่น การวินิจฉัยโรคทางเมแทบอลิกหรือการออกแบบการทดลองทางชีวเคมี (Günter, 2020; García-Ponce & Martínez-Poveda, 2019) กลยุทธ์เหล่านี้ไม่เพียงช่วยส่งเสริมความเข้าใจแนวคิด แต่ยังช่วยพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงที่สอดคล้องกับความต้องการของการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันอีกด้วย

1.2 ปัญหาและความท้าทายในการเรียนการสอนหัวข้อเมแทบอลิซึม

หัวข้อเมแทบอลิซึมเป็นหนึ่งในหัวข้อที่ซับซ้อนที่สุดในชีวเคมี ซึ่งนำมาซึ่งความลำบากและท้าทายหลายประการเนื่องจากความซับซ้อนของวิถีปฏิกิริยา (Pathway) ทางชีวเคมีและแนวคิดที่เป็นนามธรรม หัวข้อนี้ถูกมองว่ายากทั้งสำหรับนักเรียนและครูผู้สอน เนื่องจากต้องใช้การบูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา เช่น เคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ โดยมีการศึกษาวิจัยปัญหาและความท้าทายที่พบและรายงานไว้เบื้องต้น ดังนี้

1.2.1 ความซับซ้อนเชิงแนวคิด

เมตาบอลิซึมครอบคลุมวิถีชีวเคมีที่ซับซ้อนมากมาย เช่น ไกลโคไลซิส วัฏจักรของกรดซิตริก และออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและสารชีวโมเลกุลที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก ทำให้ความจำเป็นในการทำความเข้าใจทั้งภาพรวมและรายละเอียดอาจทำให้นักเรียนรู้สึกหนักใจ งานวิจัยชี้ให้เห็นว่านักเรียนมักจะมีปัญหาในการเข้าใจความเชื่อมโยงและกลไกการควบคุมของวิถี ซึ่งส่งผลให้เกิดความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์ (Ribeiro, Oliveira & Huet, 2019) นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าภาระทางปัญญาที่เกิดจากการพยายามเข้าใจเส้นทางต่าง ๆ พร้อมกันอาจส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่น้อยเกินไป (Morales et al., 2017)

1.2.2 ความเป็นนามธรรม

กระบวนการเมแทบอลิซึมนั้นเป็นนามธรรมและไม่สามารถมองเห็นได้ง่าย ความนามธรรมนี้ทำให้นักเรียนประสบปัญหาในการจินตนาการและเข้าใจเส้นทางและความสัมพันธ์ของสารต่าง ๆ นอกจากนี้ เครื่องมือในการสร้างภาพมักจะไม่เพียงพอในการแสดงลักษณะที่แท้จริงในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Nichols, Burghardt & Hummel, 2018)

1.2.3 ต้องการการบูรณาการความรู้จากหลายสาขา

เมแทบอลิซึมเป็นเนื้อหาที่ต้องบูรณาการความรู้จากหลายสาขา เช่น เคมี (โครงสร้างโมเลกุล) ชีววิทยา (การทำงานของเซลล์) และฟิสิกส์ (การถ่ายโอนพลังงาน) ทำให้สำหรับนักเรียนหลายคน การบูรณาการความรู้นี้สร้างความสับสน เนื่องจากพวกเขาต้องเชื่อมโยงความรู้จากหลายแหล่งพร้อมกัน (Schönborn & Anderson, 2009) การประยุกต์ใช้ความรู้จากสาขาต่าง ๆ พร้อมกันอาจทำให้นักเรียนรู้สึกหนักใจและลดความสามารถในการเข้าใจเนื้อหาได้อย่างเต็มที่ (Harmon, 2018)

1.2.4 แรงจูงใจและการมีส่วนร่วมของนักเรียน

นักเรียนมักมองว่าเมแทบอลิซึมเป็นหัวข้อที่ยากและไม่สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งทำให้แรงจูงใจและการมีส่วนร่วมลดลง งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการที่นักเรียนพบกับแนวคิดที่พวกเขามองว่ายากและเป็นนามธรรมทำให้ความสนใจลดลง และพวกเขามีแนวโน้มที่จะไม่จดจำข้อมูลนั้นได้ (Cook, 2014) แรงจูงใจเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเรียนรู้เรื่องที่ซับซ้อน (Roth & Bowen, 2018)

กลยุทธ์ในการเอาชนะความท้าทายมีรายงานไว้เบื้องต้น มีดังนี้

1) การเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติ

การเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติ เช่น การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) และการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา (CBL) แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับ

เส้นทางเมแทบอลิซึมได้ วิธีการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการที่นักเรียนต้องมีส่วนร่วมกับเนื้อหาโดยการแก้ปัญหาและการอภิปรายกรณีศึกษา ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกได้ดีขึ้นและจดจำแนวคิดที่ซับซ้อนได้มากขึ้น (Armbruster et al., 2009)

2) การใช้เครื่องมือสร้างภาพ

การใช้เครื่องมือสร้างภาพ เช่น แผนที่เส้นทางเมแทบอลิซึมแบบจำลองโมเลกุล 3 มิติ และการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติที่เป็นนามธรรมของปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมเครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนเห็นลักษณะเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในวิถีเมแทบอลิซึม ตัวอย่างเช่น การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยให้นักเรียนสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรและสังเกตผลลัพธ์ของกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ได้ ทำให้ความเข้าใจแนวคิดดีขึ้น (Walsh, 2017; Gilbert, 2008)

3) การสอนแบบบูรณาการ

การสอนแบบบูรณาการที่รวมเอาแนวคิดทางเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าแนวคิดเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกันอย่างไรในเมแทบอลิซึม วิชาที่เน้นการบูรณาการของวิชาต่าง ๆ ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาในหลายสาขาวิชาได้ดียิ่งขึ้น (Loertscher, Minderhout & Lewis, 2014)

4) การประเมินผลระหว่างเรียน (Formative assessment)

การประเมินผลระหว่างเรียนอย่างสม่ำเสมอ เช่น การทดสอบสั้น ๆ การประเมินโดยเพื่อน และการถามคำถามแบบโต้ตอบระหว่างการบรรยาย ช่วยให้นักเรียนได้รับข้อเสนอแนะทันทีเกี่ยวกับความเข้าใจของตน การประเมินเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนสามารถระบุความเข้าใจผิดได้ตั้งแต่เนิ่น ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมกับเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง (Nicol & Macfarlane-Dick, 2006) นอกจากนี้ การประเมินผลยังส่งเสริมการสะท้อนตนเอง ช่วยให้นักเรียนสามารถติดตามความก้าวหน้าและปรับปรุงกลยุทธ์การเรียนรู้ได้ตามความจำเป็น (Black & Wiliam, 1998)

5) การสอนแบบเสริมต่อการเรียนรู้ (Scaffolding)

การการสอนแบบเสริมต่อการเรียนรู้ เป็นกลยุทธ์ที่ให้การสนับสนุนเชิงเนื้อหาที่ยุ่งยากซับซ้อนให้กลายเป็นเนื้อหาย่อยที่เรียงลำดับให้แก่นักเรียนในขณะที่พวกเขาเรียนรู้แนวคิดใหม่ สำหรับการสอนเมแทบอลิซึมกลยุทธ์นี้อาจรวมถึงการแบ่งวิถีหรือปฏิกิริยาที่ซับซ้อนออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น และค่อย ๆ เพิ่มความซับซ้อนของเนื้อหา (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007; Fretz et al., 2002)

แม้จะมีความพยายามมากมายในการพัฒนาการเรียนรู้เกี่ยวกับเมแทบอลิซึม เช่น การใช้การเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) เทคโนโลยีการสร้างภาพสามมิติ และวิธีการ

สอนแบบโต้แย้ง แต่หัวข้อนี้ยังคงได้รับการสำรวจไม่เพียงพอและยังคงเป็นความท้าทายสำคัญในการศึกษาชีวเคมี (Günter, 2020) รูปแบบการเรียนการสอนอื่น ๆ เช่น การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองหรือการเรียนรู้จากการเปรียบเทียบ อาจมีศักยภาพในการทำให้แนวคิดที่เป็นนามธรรมเข้าใจได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม รูปแบบการสอนเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างเต็มที่เนื่องจากขาดการประยุกต์ใช้และงานวิจัยที่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาและประเมินกลยุทธ์การสอนเชิงนวัตกรรมที่ผสานวิธีการเรียนรู้เชิงภาพ แนวคิด และประสบการณ์เข้าด้วยกัน เพื่อแก้ไขอุปสรรคทางปัญญาที่นักเรียนต้องเผชิญ การสำรวจแนวทางเหล่านี้เพิ่มเติมควบคู่กับความก้าวหน้าในเทคโนโลยีและกรอบการสอน จะเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาการมีส่วนร่วมของผู้เรียน ความเข้าใจเชิงแนวคิด และการจดจำกระบวนการเมแทบอลิซึมในระยะยาว

2. แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-Process Model)

2.1 ความหมายของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

แบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่งที่เน้นจำลองภาพกระบวนการเปลี่ยนแปลง (Process) แทนที่จะเป็นเพียงแค่จำลองวัตถุ เช่น การเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาเคมี การถ่ายเทพลังงาน การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เป็นต้น แบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป็นรูปแบบของแบบจำลองที่ต้องมีการคิดอย่างเป็นระบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจและประยุกต์ใช้แนวคิดซึ่งถือเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีซับซ้อนมากที่สุด (Harrison & Treagust, 2000)

กรอบแนวคิด (Framework) ของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการประกอบไปด้วย 5 ส่วน ได้แก่ ธรรมชาติของแบบจำลอง (nature of models) แบบจำลองหลายด้าน (multiple models) จุดประสงค์ของแบบจำลอง (purpose of models) การทดสอบแบบจำลอง (testing models) และการเปลี่ยนแบบจำลอง (changing models) ซึ่งในทางชีววิทยาได้ผ่านการทดสอบโดย Grünkorn, Upmeier zu Belzen & Krüger (2014) โดยทั้ง 5 ส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

1) ธรรมชาติของแบบจำลอง (nature of models) หมายถึง การเปรียบเทียบแบบจำลองกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดั้งเดิม

2) แบบจำลองหลายด้าน (multiple models) หมายถึง การที่มีโอกาสที่แบบจำลองมากกว่าหนึ่งแบบสามารใช้อธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดั้งเดิมได้ หรือไม่มีแบบจำลองใดที่สามารถอธิบายทุกแง่มุมของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดั้งเดิมได้

3) จุดประสงค์ของแบบจำลอง (purpose of models) หมายถึงการใช้

4) แบบจำลองเพื่อใช้ทำนายผลลัพธ์ทางวิทยาศาสตร์ การทดสอบแบบจำลอง (testing models) หมายถึงการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

5) การเปลี่ยนแบบจำลอง (changing models) หมายถึงการที่แบบจำลองสามารถถูกปรับเปลี่ยนได้

2.2 การนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการไปใช้

แบบจำลองแนวคิดกระบวนการถูกประยุกต์ใช้ในหลายสาขาวิทยาศาสตร์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดที่ซับซ้อนทางวิทยาศาสตร์ ในวิชาฟิสิกส์ Hestenes et al. (1992) ได้นำเสนอ Force Concept Inventory (FCI) หรือแบบวัดความเข้าใจด้านกลศาสตร์นิวตัน ซึ่งใช้หลักของแนวคิดแบบจำลองกระบวนการเพื่อช่วยตรวจหาข้อบกพร่องในการเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับกลศาสตร์นิวตัน เช่น การเปลี่ยนแปลงของแรงเมื่อมีแรงต่างชนิดมากระทำ หรือการเปลี่ยนแปลงของแรงตามกฎของนิวตัน เป็นต้น ในวิชาเคมี Johnstone (1991) ได้เสนอแบบจำลองที่เชื่อมโยงระหว่างการแทนภาพในระดับมหภาค ระดับย่อยอนุภาค และระดับสัญลักษณ์เพื่อเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาในปรากฏการณ์ทางเคมี

ในชีววิทยา แบบจำลองแนวคิดกระบวนการถูกใช้ในการสอนเรื่องการหายใจระดับเซลล์และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง Anderson & Krathwohl (2001) ได้พัฒนาระบบจำแนกที่เชื่อมโยงความรู้เชิงแนวคิดกับกระบวนการทางความคิด ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบชีววิทยา แบบจำลองเหล่านี้ช่วยให้การรวมแนวคิดที่เป็นนามธรรมเข้ากับกระบวนการที่จับต้องได้ง่ายขึ้น ซึ่งทำให้นักศึกษาเข้าใจและจดจำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดีขึ้น

มีการศึกษาหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการในการปรับปรุงผลการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Novak & Gowin (1984) พบว่าการทำแผนที่แนวคิด (Concept mapping) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ ช่วยเพิ่มความเข้าใจและการจดจำแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาได้อย่างมีนัยสำคัญ การทำแผนที่แนวคิดช่วยให้นักศึกษาจัดระเบียบและแทนความรู้ของตนเองในรูปแบบที่เป็นภาพ ทำให้แนวคิดที่เป็นนามธรรมเข้าถึงได้ง่ายขึ้นและเข้าใจได้ดีขึ้น

แม้ว่าแบบจำลองแนวคิดกระบวนการจะมีข้อดีหลายประการ แต่กระบวนการนี้มีข้อเสียหรือจำกัดบางประการ เช่น ความยากลำบากในการออกแบบและนำแบบจำลองเหล่านี้ไปใช้ในบริบทการศึกษาที่แตกต่างกัน โดยครูอาจต้องการการฝึกอบรมและการสนับสนุนเพื่อใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการในห้องเรียนของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ความซับซ้อนของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์นั้นทำให้ยากต่อการสร้างแบบจำลองที่แทนภาพกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้การประเมินผลการเรียนรู้จากแบบจำลองแนวคิดกระบวนการไม่สามารถใช้วิธีการ

ประเมินแบบดั้งเดิม เช่น การทดสอบแบบปรนัย ได้โดยตรง เนื่องจากไม่สามารถจับความลึกของความเข้าใจที่ได้จากแบบจำลองแนวคิดกระบวนการได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กลยุทธ์การประเมินอื่น ๆ เช่น การประเมินจากการปฏิบัติหรือการตรวจสอบแนวคิด เป็นต้น

2.3 ข้อแตกต่างระหว่างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป็นเครื่องมือที่ใช้ใน การศึกษา การวิจัย และการสื่อสาร ในวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ทั้งสองมีวัตถุประสงค์และเน้นไปที่มุมมองที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เน้นการทำความเข้าใจและการนำเสนอข้อมูล การอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Taber, 2017; Justi & Gilbert, 2002) ส่วนแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเน้นทำความเข้าใจกระบวนการทำงาน โดยเชื่อมโยงแนวคิดและแสดงความสัมพันธ์หรือขั้นตอน (Chiu & Lin, 2019) ทั้งสองมีประโยชน์ในการศึกษา แต่มีวัตถุประสงค์ต่างกัน แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ช่วยพัฒนาความเข้าใจเชิงวิทยาศาสตร์และการทำนายผล ในขณะที่แบบจำลองแนวคิดกระบวนการช่วยจัดระเบียบและสอนความคิดที่เชื่อมโยงกัน (Coll & Lajium, 2011)

ความแตกต่างหลักระหว่างทั้งสองแบบจำลองสรุปอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างหลักระหว่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

ประเด็น	แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ
คำจำกัดความและวัตถุประสงค์	แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนแบบง่ายของ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือระบบ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อ อธิบาย ทำนาย หรือแสดงพฤติกรรมเฉพาะของระบบในโลกความเป็นจริง (Taber, 2017; Justi & Gilbert, 2002)	แบบจำลองแนวคิด-กระบวนการมุ่งเน้นที่ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดและกระบวนการ เพื่ออธิบายว่า สิ่งต่าง ๆ ทำงานอย่างไรหรือดำเนินการอย่างไรตามเวลา (Chiu & Lin, 2019)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเด็น	แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ
จุดเน้นและขอบเขต	เน้นที่ สิ่งที่เกิดขึ้น ในระบบหรือกระบวนการ โดยมุ่งเน้นที่ปรากฏการณ์ธรรมชาติ องค์ประกอบหรือหน้าที่ **ตัวอย่าง**: แบบจำลองอะตอมของโบร์ แสดงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (*Taber, 2017*)	เน้นที่ **การทำงานของกระบวนการ** และความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดหลักและลำดับขั้นตอนในระบบ (*Coll & Lajium, 2011*). **ตัวอย่าง**: แบบจำลองการสังเคราะห์แสง ที่เชื่อมโยงแนวคิด (แสง น้ำ CO_2) และกระบวนการ (ปฏิกิริยาแสงวัฏจักรคาลวิน) (*Chiu & Lin, 2019*).
การนำเสนอ	มักเน้นที่ **องค์ประกอบทางกายภาพ เคมี หรือชีววิทยา** โดยการนำเสนออาจเป็นแบบนิ่งหรือแบบไดนามิก (*Taber, 2017*) **ตัวอย่าง**: แบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้ข้อมูลและสมการเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	เน้นที่ **ความเชื่อมโยงและกระบวนการ** โดยมักใช้ลูกศร ผังการไหล หรือการป้อนกลับ (*Coll & Lajium, 2011*) **ตัวอย่าง**: แบบจำลองกระบวนการเรียนรู้ที่แสดงขั้นตอน "การรับข้อมูล ⟶ การประมวลผล ⟶ การสร้างผลลัพธ์ ⟶ การสะท้อนคิด"
การใช้งาน	ใช้เพื่อ **จำลอง ทดสอบสมมติฐาน หรือทำนายผล** ในการศึกษาและการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (Justi & Gilbert, 2002) พบมากในการ **วิจัยและการประยุกต์ทางทฤษฎี**.	ใช้เพื่อ **การสอน อธิบาย หรือจัดระเบียบความคิด** เกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน (*Chiu & Lin, 2019*; *Taber, 2017*) พบมากในการ **ศึกษาและการสื่อสาร** เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการ

2.4 แบบจำลองแนวคิดกระบวนการในวิชาชีวเคมี

แบบจำลองแนวคิดเชิงกระบวนการ (Concept-Process Models: CPMs) เป็นเครื่องมือการสอนที่สำคัญในการศึกษาชีวเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแก้ไขปัญหาความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับการสอนเรื่องเมแทบอลิซึม เนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีเป็นกระบวนการที่มีการ

เปลี่ยนแปลงที่เป็นพลวัตและเกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล การแสดงผลแบบนิ่งทั่วไปมักไม่สามารถถ่ายทอดความซับซ้อนและความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการได้อย่างชัดเจน (Pan et al., 2021; Justi & Gilbert, 2002) ตามการจำแนกของ Harrison และ Treagust (1998) แบบจำลองแนวคิดเชิงกระบวนการให้ความสำคัญกับการแสดงผลแบบ เชิงกระบวนการ ที่เชื่อมต่อกัน เช่น การเกิดปฏิกิริยาเคมีและจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติของเส้นทางเมแทบอลิซึมที่ต้องอาศัยความเข้าใจเชิงระบบและการควบคุม (Harrison & Treagust, 2000b)

เมแทบอลิซึมเป็นหัวข้อหลักในวิชาชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางที่ซับซ้อน เช่น ไกลโคไลซิส วัฏจักรกรดซิตริก และการถ่ายทอดพลังงานผ่านปฏิกิริยาออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน โดยนักเรียนมักประสบปัญหาในการทำความเข้าใจกระบวนการเหล่านี้ เนื่องจากความเป็นนามธรรม ความซับซ้อน และความจำเป็นในการจินตนาการถึงสิ่งที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (Jansen, Knippels & van Joolingen, 2021) วิธีการสอนแบบดั้งเดิมที่เน้นการจำข้อมูลและการใช้แผนภาพแบบนิ่งมักก่อให้เกิดปัญหาที่ทำให้นักเรียนมองไม่เห็นถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมภายในระบบเมแทบอลิซึม (Orgill & Bodner, 2004) โดยหากไม่มีการถ่ายทอดอย่างชัดเจนถึงความเชื่อมโยงและการควบคุม นักเรียนอาจไม่เข้าใจหลักการสำคัญ เช่น การควบคุมเอนไซม์ การเคลื่อนที่ของสารในวิถีและกลไกการรักษาสมดุลของระบบ เป็นต้น

งานวิจัยของ Jansen, Knippels & van Joolingen (2021) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ แบบจำลองแนวคิดเชิงกระบวนการในการสอนการหายใจระดับเซลล์ โดยให้นักเรียนเห็นภาพการถ่ายโอนพลังงานแบบเป็นขั้นตอนและการสร้าง ATP ภายในไมโตคอนเดรีย การผสมผสานแผนผังแบบตามเวลาจริง (Real time) การใช้ภาพเคลื่อนไหว และแบบจำลองแบบโต้ตอบช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการที่ซับซ้อน เช่น ออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน ซึ่งก่อนหน้านี้ยากต่อการจินตนาการ การแสดงผลแบบผสมผสานนี้ช่วยเชื่อมโยงช่องว่างระหว่างแนวคิดเชิงทฤษฎีและปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ ส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึก และลดภาระทางปัญญาของผู้เรียน

3. การสอนโดยการเปรียบเทียบเป็นฐาน (Analogy-based Learning) แบบ FAR

3.1 ความหมายและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการสอนโดยการเปรียบเทียบเป็นฐาน

การสอนโดยใช้การใช้ตัวเปรียบเทียบ หรือบางครั้งเรียกว่าตัวอุปมานหรือแอนาล็อก (Analog) เป็นการสอนที่นำการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ผู้เรียนคุ้นเคยมากกว่ากับมโนทัศน์ที่ซับซ้อนและไม่คุ้นเคย ซึ่งโดยส่วนมากมักถูกแสดงอยู่ในรูปของ “a is to b is like c is to d” (Seiler & Huggins, 2018) ในการเรียนวิทยาศาสตร์ที่บ่อยครั้งมโนทัศน์มีความซับซ้อนและเป็นสิ่งที่เป็น

นามธรรมจับต้องได้ยาก การนำ อุปมาน มาใช้จึงมีส่วนช่วยในการใช้ในการถ่ายโอนเนื้อหา ซึ่งตัวอุปมาน (Analogy) จะมีความลุ่มลึก ซับซ้อน และใกล้เคียงกับธรรมชาติมากกว่าตัวอุปมาอุปไมย (Metaphor) (Gentner, 1983)

Heywood (2010) ได้เสนอว่าการเปรียบเทียบในการศึกษาควรใช้ในการกระตุ้นและสร้างการมีส่วนร่วมของผู้เรียนมากกว่าการใช้เป็นเพียงเครื่องมือในการถ่ายทอดความรู้ ผู้สอนควรใช้การเปรียบเทียบเป็นสื่อในการให้เหตุผลและโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียน และเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาที่ลุ่มลึกมากขึ้นและช่วยให้เกิดการคิดขั้นสูงได้ นอกจากนี้ มีรายงานที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่เข้าร่วมการเรียนรู้แบบอุปมาเชิงการวิเคราะห์ในวิทยาศาสตร์มีผลการเรียนรู้ที่ดีกว่าในการเข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนและการจดจำข้อมูล (Glynn, 2008)

Harrison & Treagust, (2000) และ Treagust, Harrison & Venville (1998) ได้พัฒนาการสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบ (Analogy modeling) และเสนอวิธี FAR (Focus, Action, Reflection) ไว้ ซึ่งได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพสูงในการสอนแนวคิดที่ซับซ้อนและส่งเสริมทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Treagust, 1993; Treagust, Harrison, & Venville, 1998) กรอบแนวคิด FAR มีข้อได้เปรียบในด้านความเรียบง่าย เนื่องจากมีขั้นตอนที่ชัดเจนเพียง 3 ขั้นตอน ได้แก่ การหาจุดสนใจ (Focus) การลงมือปฏิบัติ (Action) และการสะท้อนคิด (Reflection) ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในการเรียนการสอนเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น แบบจำลองการสอนผ่านการอุปมา (Teaching-With-Analogies: TWA) ของ Glynn (1991, 1995, 1996) และ แบบจำลองการสอนอุปมาเชิงทั่วไป (General Model of Analogy Teaching: GMAT) ของ Zeitoun (1984) (Orgill & Bodner, 2006; Treagust, 2015; Harrison & Treagust, 2000a)

การทำงานของกรอบ FAR ผ่านกระบวนการที่เน้นการวนซ้ำและการปรับปรุงความเข้าใจนั้นไม่เพียงช่วยให้นักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น แต่ยังส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) และการแก้ปัญหา (Problem-Solving Skills) ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบัน (Treagust et al., 1998; Harrison & Treagust, 1998) ราบละเอียดของขั้นตอน FAR เป็นดังนี้

หาจุดสนใจ (Focus)	แนวคิดหรือไม่	ยากเกินไป ไม่คุ้นเคย หรือเป็นนามธรรม
	ผู้เรียน	อะไรที่ผู้เรียนรู้อยู่แล้วเกี่ยวกับแนวคิดนี้
	อุปมาน	มีอะไรบ้างที่ผู้เรียนน่าจะคุ้นเคย
ลงมือปฏิบัติ (Action)	เหมือน	อภิปรายองค์ประกอบของตัวอุปมานและแนวคิดวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงจุดเหมือนระหว่างตัวอุปมานและแนวคิดเป้าหมาย
	ไม่เหมือน	อภิปรายองค์ประกอบของตัวอุปมานและแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน
สะท้อนคิด (Reflection)	การลงข้อสรุป	การเปรียบเทียบมีความชัดเจนและเป็นประโยชน์หรือไม่ หรือเกิดความสับสน
	การพัฒนา	หาจุดสนใจใหม่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

ขั้นที่ 1 หาจุดสนใจ (Focus) ผู้สอนพิจารณาตัวอุปมานและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่าผู้เรียนคุ้นเคยหรือไม่ เหมาะสำหรับระดับชั้นและพื้นฐานเดิมของผู้เรียนอย่างไร

ขั้นที่ 2 ลงมือปฏิบัติ (Action) ผู้สอนใช้ตัวอุปมานในการเรียนการสอน โดยการเปรียบเทียบองค์ประกอบทั้งในส่วนที่เหมือนและแตกต่างระหว่างตัวอุปมานและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

ขั้นที่ 3 สะท้อนคิด (Reflection) ผู้สอนทำการประเมินว่าตัวอุปมานแต่ละตัวนั้นว่ามีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างไร ผู้สอนอาจทำการปรับปรุงรูปแบบการนำเสนอตัวอุปมานหลังจากได้รับเสียงสะท้อนจากผู้เรียน หรืออาจเปลี่ยนตัวอุปมานเป็นตัวใหม่หากมีความจำเป็น

รากฐานทางทฤษฎีของวิธีการเปรียบเทียบแบบ FAR มาจากทฤษฎีการเรียนรู้เชิงปัญญา โดยเฉพาะทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอุปมาและการถ่ายโอนการเรียนรู้ (Gentner, 1983) โดยการใช้เหตุผลแบบอุปมาเป็นกระบวนการปัญญาพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงความรู้จากโดเมนที่รู้จัก (ต้นทาง) ไปยังโดเมนใหม่ (เป้าหมาย) เพื่ออำนวยความเข้าใจ (Holyoak & Thagard, 1995)

ตัวอย่างของการนำวิธีการสอนโดยใช้เปรียบเทียบแบบ FAR เป็นฐาน เช่น ในวิทยาศาสตร์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแนวคิดที่เป็นนามธรรมสามารถ พบว่าการเปรียบเทียบแบบ FAR ช่วยทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น เช่น การเข้าใจวงจรไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับระบบการไหลของน้ำ

(Duit et al., 2001) ในวิชาคณิตศาสตร์ วิธีการ FAR ช่วยให้นักเรียนเข้าใจหลักการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นนามธรรมโดยเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริง เช่น การใช้ตัวอย่างของตาชั่งเพื่ออธิบายสมการพีชคณิต (Richland, Zur, & Holyoak, 2007) นอกจากนี้ วิธีการเปรียบเทียบแบบ FAR ยังสามารถนำไปใช้ในวิชาทางสังคมศึกษาหรือภาษาได้ เช่น การใช้คำอุปมาในการเรียนรู้ภาษาช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงคำใหม่กับความรู้ที่มีอยู่แล้ว นำไปสู่การจดจำและการใช้งานที่ดีขึ้น (Nation, 2001)

แม้ว่าวิธีการเรียนรู้แบบใช่ตัวเปรียบเทียบแบบ FAR จะมีศักยภาพในการเพิ่มความเข้าใจและการจดจำในหลากหลายบริบท และสามารถการประยุกต์ใช้ได้มาก ทำแต่การเลือกตัวเปรียบเทียบที่เหมาะสมอาจเป็นปัญหาและอุปสรรค รวมถึงการเตรียมความพร้อมของครูผู้สอน โดยพบว่าตัวเปรียบเทียบที่เลือกไม่ดีอาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดและความสับสนของผู้เรียน (Duit et al., 2001) และการฝึกครูผู้สอนให้เข้าใจกระบวนการใช้งาน รวมถึงชี้แนะนักเรียนอย่างเหมาะสมก็มีส่วนสำคัญให้การนำการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐานประสบความสำเร็จได้ (Glynn, 2008)

3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบเป็นฐาน

การสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบ (Analogy modeling) โดย Harrison & Treagust, (2000) และ Treagust, Harrison & Venville (1998) แบบ FAR เทียบกับ การสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยชาตรี ฝ่ายคำตา และคณะ (อนุพงศ์ ไพรศรี และคณะ, 2022) แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบแบบต่าง ๆ

	การสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบ (Analogy modeling) โดย Harrison & Treagust, (2000) และ Treagust, Harrison & Venville (1998) แบบ FAR	**การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดย ชาตรี ฝ่ายคำตา และคณะ**	**การสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบเป็นฐานในการศึกษานี้**
หาจุดสนใจ (Focus)	● ยากเกินไป ไม่คุ้นเคย หรือเป็นนามธรรมหรือไม่ ● อะไรที่ผู้เรียนรู้อยู่แล้วเกี่ยวกับแนวคิดนี้ ● มีอะไรบ้างที่ผู้เรียนน่าจะคุ้นเคย		1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน เพื่อนำมาใช้สร้างตัวอุปมาน 2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับแนวคิดใหม่
ลงมือปฏิบัติ (Action)	● อภิปรายองค์ประกอบของตัวอุปมานและแนวคิดวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงจุดเหมือนระหว่างตัวอุปมานและแนวคิดเป้าหมาย ● อภิปรายองค์ประกอบของตัวอุปมานและแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน	1. ขั้นสร้างแบบจำลอง	3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย 4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน
สะท้อนคิด (Reflection)	● การเปรียบเทียบมีความชัดเจนและเป็นประโยชน์หรือไม่ หรือเกิดความสับสน ● หาจุดสนใจใหม่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น	2. ขั้นประเมินแบบจำลอง 3. ขั้นดัดแปลงแบบจำลอง 4. ขั้นขยายแบบจำลอง	5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง 6. ขั้นขยายแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวเปรียบเทียบและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มีความแตกต่างกันในด้านวัตถุประสงค์ โครงสร้าง และความลึกในการประยุกต์ใช้ในบริบทการศึกษาวิทยาศาสตร์ การสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวเปรียบเทียบ มุ่งเน้นไปที่การเชื่อมโยงแนวคิดที่เป็นนามธรรมเข้ากับประสบการณ์หรือปรากฏการณ์ที่คุ้นเคย โดยอาศัยการเปรียบเทียบเป็นเครื่องมือทางปัญญาเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจหัวข้อที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น (Brown & Salter, 2010; Orgill & Bodner, 2006) ตัวเปรียบเทียบถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อช่วยให้นักเรียนเห็นภาพแนวคิดเชิงนามธรรม อย่างไรก็ตาม การใช้อุปมาอาจลดทอนความซับซ้อนของปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์และอาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดได้หากขอบเขตของการเปรียบเทียบไม่ถูกอธิบายอย่างชัดเจน (Orgill & Bodner, 2006)

ในทางกลับกัน การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือการสร้างตัวแทนที่เรียบง่ายของวัตถุ ระบบ หรือกระบวนการ ซึ่งช่วยให้สามารถมองเห็น อธิบาย และทำนายปรากฏการณ์ในโลกธรรมชาติได้ แบบจำลองเหล่านี้อาจอยู่ในรูปแบบของแนวคิด กายภาพ คณิตศาสตร์ หรือคอมพิวเตอร์ และถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขาวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายระบบที่ซับซ้อนซึ่งไม่สามารถสังเกตหรือเข้าใจได้โดยตรง (Justi & Gilbert, 2002; Harrison & Treagust, 2000) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทำหน้าที่เชื่อมโยงช่องว่างระหว่างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์เชิงนามธรรมกับการสังเกตในโลกแห่งความเป็นจริง ทำให้นักเรียนและนักวิจัยสามารถทำความเข้าใจกับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน ทดสอบสมมติฐาน และสื่อสารแนวคิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Buckley & Boulter, 2000)

กล่าวโดยสรุป การใช้ตัวเปรียบเทียบในการสร้างแบบจำลอง อาจกล่าวได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แต่การสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวเปรียบเทียบจะเน้นการเชื่อมโยงแนวคิดของประสบการณ์เดิมของผู้เรียนเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการลดภาระทางปัญญาเพื่อใช้ในการทำความเข้าใจและสร้างแบบจำลอง ผ่านการใช้ตัวเปรียบเทียบที่จะกลายมาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง

3.3 การใช้ตัวเปรียบเทียบในวิชาชีวเคมี

การเรียนรู้โดยใช้ตัวเปรียบเทียบ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาที่พบในการศึกษาชีวเคมี เนื่องจากช่วยเชื่อมโยงกระบวนการทางชีวเคมีที่ไม่คุ้นเคย (เป้าหมาย) เข้ากับปรากฏการณ์ที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวัน (ตัวเปรียบเทียบหรือตัวอุปมาน) (Brown & Salter, 2010; Orgill & Bodner, 2006; Mason, 1994) การใช้ตัวเปรียบเทียบมีความแพร่หลายในหนังสือเรียนวิชาชีวเคมี โดยพบได้บ่อยกว่าหนังสือเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปหรือวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษา (Orgill & Bodner, 2006)

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการสอนผ่านตัวเปรียบเทียบมักถูกจำกัดโดยการขาดคำอธิบายที่ชัดเจนหรือการเชื่อมโยงที่ชัดแจ้งระหว่างตัวเปรียบเทียบและแนวคิดเป้าหมาย ซึ่งอาจทำ

ให้นักเรียนเกิดความเข้าใจผิดได้หากพวกเขาใช้การเปรียบเทียบในลักษณะที่ขยายขอบเขตเกินจริง (Brown & Salter, 2010) ตัวอย่างเช่น นักเรียนอาจเข้าใจผิดว่าความคล้ายคลึงที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเปรียบเทียบกับแนวคิดเป้าหมายมีความถูกต้องทุกประการ ซึ่งอาจทำให้เกิดการตีความที่ผิดพลาด ดังนั้น การใช้ตัวเปรียบเทียบที่มีประสิทธิภาพในการสอนต้องอาศัยการอธิบายอย่างละเอียดถี่ถ้วน รวมถึงการชี้ให้เห็นถึงความคล้ายคลึงกันและความแตกต่างระหว่างตัวเปรียบเทียบกับแนวคิดเป้าหมายอย่างชัดเจน เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับแนวคิดใหม่ได้อย่างถูกต้อง การเรียนรู้ผ่านอุปมาที่ชัดเจนและมีการควบคุมอย่างเหมาะสมจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น และยังช่วยป้องกันความเข้าใจผิดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเรียนรู้

3.4 การใช้ตัวเปรียบเทียบในแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

การใช้ตัวเปรียบเทียบและแบบจำลองเชิงกระบวนการ มีแนวโน้มที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนเนื้อหาเมแทบอลิซึมได้ เนื่องจาก ตัวเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงกระบวนการทางชีวเคมีที่ไม่คุ้นเคยเข้ากับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่พวกเขาเข้าใจดีอยู่แล้ว (Richland & Simms, 2015) Orgill & Bodner (2006) ระบุว่าการใช้ตัวเปรียบเทียบควบคู่กับแบบจำลอง ลจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและกระบวนการทางชีวเคมีได้ดียิ่งขึ้น

กรอบแนวคิด FAR ของ Treagust et al. (1998) มีบทบาทสำคัญในการใช้ตัวเปรียบเทียบเพื่อชี้นำให้นักเรียนมุ่งเน้นไปที่ลักษณะสำคัญของแบบจำลอง เปรียบเทียบแนวคิด และสะท้อนถึงความเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR อาจช่วยป้องกันการเกิดความเข้าใจผิดและส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึก ตัวอย่างเช่น การสอนวัฏจักรกรดซิตริกโดยใช้อุปมาเปรียบเสมือนสายการประกอบชิ้นส่วนแบบหมุนเวียน จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจการนำสารตั้งต้นกลับมาใช้ซ้ำและการควบคุมภายในวัฏจักร

มีการศึกษาหลายงานที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้แบบจำลองในการปรับปรุงผลการเรียนรู้ของนักเรียนในวิชาชีวเคมี โดย Pan et al. (2021) พบว่าการใช้แบบจำลองพลวัตในการสอนจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ ช่วยเพิ่มความสามารถของนักเรียนในการคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือการทำงานของเอนไซม์ ในทำนองเดียวกัน Justi & Gilbert (2002) รายงานว่าแบบจำลองมีประโยชน์อย่างยิ่งในการแสดงให้เห็นถึงกลไกการควบคุม เช่น การยับยั้งแบบแอลโลสเตอริกและแบบย้อนกลับ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการทำความเข้าใจกระบวนการควบคุมทางเมแทบอลิซึม Jansen, Knippels & van Joolingen (2021) เน้นว่าการใช้แบบจำลองช่วยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้แบบเชิงรุกและฝึกทักษะการคิดเชิงระบบ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นต่อการพัฒนาการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005).

มีการรายงานว่าการใช้ตัวเปรียบเทียบในระหว่างกระบวนการสร้างแบบจำลองนั้น ไม่เพียงแต่ช่วยทำให้กระบวนการทางชีวเคมีที่ซับซ้อนมีความชัดเจนมากขึ้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงแนวคิด (Conceptual Change) โดยจะช่วยส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียนจากระดับผิวเผินไปสู่ความเข้าใจที่ครอบคลุมและลึกซึ้งยิ่งขึ้น ดังที่แสดงให้เห็นในงานวิจัยของ Mason (1994) เกี่ยวกับระบบไหลเวียนโลหิตของมนุษย์ ในการสร้างแบบจำลองที่อาศัยตัวเปรียบเทียบ เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุน (scaffolding) ในการชี้นำการเรียนรู้ในขั้นเริ่มต้น ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจปรากฏการณ์ที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น และเป็นการวางรากฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีความแม่นยำและละเอียดมากยิ่งขึ้น (Treagust et al., 1998)

ในบริบทของแบบจำลองแนวคิดเชิงกระบวนการ การใช้ตัวเปรียบเทียบยังช่วยสร้างตัวแทนแบบพลวัตที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ในกระบวนการต่างๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่ผู้เรียนสามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองที่เน้นกระบวนการ (process-based models) ที่มีความถูกต้องและครอบคลุมมากขึ้น (Orgill & Bodner, 2004; Harrison & Treagust, 2000a) ดังนั้น การใช้ตัวเปรียบเทียบในกระบวนการสร้างแบบจำลองจึงมีบทบาทในการเปลี่ยนความเข้าใจของผู้เรียนจากการมองเห็นเฉพาะจุดย่อยหรือองค์ประกอบแยกส่วน ไปสู่การเข้าใจภาพรวมของระบบที่ซับซ้อน รวมทั้งการทำความเข้าใจกลไกและการเชื่อมโยงกันของกระบวนการต่าง ๆ ในระบบ ตัวเปรียบเทียบที่ดียังเหมาะสมในการช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาการสร้างแบบจำลองที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นไปอีกระดับ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับกระบวนการทางชีววิทยาและชีวเคมีในระดับที่เป็นวิทยาศาสตร์มากขึ้น

ดังนั้น การบูรณาการตัวเปรียบเทียบเข้ากับการสร้างแบบจำลองเชิงกระบวนการจึงไม่เพียงช่วยลดความซับซ้อนของแนวคิดที่ยาก แต่ยังช่วยสร้างความเข้าใจเชิงลึกที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นความสามารถในการคิดเชิงระบบและการสร้างความสัมพันธ์ในระบบทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. อภิปัญญา (Metacognition)

4.1 แนวคิดและความหมายของอภิปัญญา

อภิปัญญา มาจากคำว่า Metacognition ซึ่งประกอบไปด้วยคำว่า Meta- หรือ อภิ- ซึ่งหมายถึง อยู่เหนือ วิเศษ หรือ อย่างยิ่ง มาประสมกับคำว่า Cognition ซึ่งหมายถึง ปัญญา หรือ กระบวนการคิด เมื่อนำสองคำนี้มาผนวกรวมกันจึงหมายถึงกระบวนการคิดที่ยิ่งยวด หรือความคิดที่คลอบคลุม โดยคำจำกัดความของอภิปัญญาอาจหมายถึงความรู้สึกนึกคิดและกระบวนการต่าง ๆ ของ

บุคคลที่ใช้ในการควบคุมและประเมินความคิดและการกระทำของตนเอง หรือนิยมเรียกสั้น ๆ ว่า การคิดเกี่ยวกับความคิด (Thinking about thinking) (Livingstone, 1997)

แนวคิดทางอภิปัญญาสามารถสืบย้อนกลับไปได้ในอดีตตั้งแต่ยุคสมัยของ Plato (Georghiades, 2004) ว่ามนุษย์มีความสามารถในการควบคุมความคิดมากกว่าแค่การใช้ความคิด ในทางการศึกษาเริ่มมีการพัฒนาแนวความคิดที่ว่า ผู้เรียนจะเรียนได้ดีจากการสะท้อนความคิดของตัวเองมากกว่าการเรียนจากประสบการณ์ตรงเสียอีก (Dewey, 1993) ซึ่งต่อมาจึงได้พัฒนามาเป็นแนวคิดที่ว่าด้วยการกำกับ ควบคุม และสะท้อนความคิดของตนเอง ในช่วงแรกเริ่ม ได้มีผู้พยายามบัญญัติคำศัพท์ที่ใช้เรียกกระบวนการนี้ไว้หลายประการ เช่น Mindfulness (Salomon & Globerson 1987) หรือ Metalearning (White & Gunstone 1989) แต่ยังมีความหมายที่คลุมเครือ จนกระทั่งในช่วงปี 1970 ได้มีเสนอคำว่า Metacognition โดย Flavell (1979) ได้เริ่มต้นนิยามเอาไว้ว่าหมายถึง ความรู้ของบุคคลหนึ่งที่เกี่ยวกับกระบวนการคิดหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และได้รับข้อมูล เช่น ฉันกำลังใช้อภิปัญญาถ้าหากฉันสังเกตว่าฉันมีปัญหาเรียนรู้ A มากกว่า B หรือฉันควรตรวจสอบ C ก่อนที่จะยอมรับข้อมูลนี้ (Flavell, 1979)

งานวิจัยทางการศึกษาหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่าการฝึกฝนอภิปัญญาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ในหลากหลายแขนง เช่น การอ่าน การคำนวณ หรือการคิดวิเคราะห์ขั้นสูง (Zohar & David, 2008; O'Loughlin & Griffith, 2020) งานวิจัยกว่า 40 ปี ลงความเห็นว่า ทักษะทางอภิปัญญาสามารถเพิ่มพูลศักยภาพและความสามารถในการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี (Rhodes, 2019) รวมถึงผลการศึกษาที่ยาวนานกว่าสามทศวรรษของ Bransford et al., (2000) ที่ระบุลงในหนังสือ How people learn ของ National Research Council แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ว่าเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งยวดที่ต้องผนวกการสอนอภิปัญญาเข้าไปในห้องเรียนทุกระดับชั้น

4.2 โมเดลการวัดอภิปัญญาตามทฤษฎีของ Schraw และ Dennison

การวัดอภิปัญญาตามโมเดลการวัดของ Schraw และ Dennison (1994) ใช้การวัด 2 องค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ และมีองค์ประกอบย่อย 7 องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

องค์ประกอบที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (knowledge of cognition) ประกอบด้วย องค์ประกอบย่อย 3 ด้าน คือ ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (declarative knowledge) ความรู้ เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (procedural knowledge) และความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทำงานให้สำเร็จ (conditional knowledge)

องค์ประกอบที่ 2 การควบคุมการรู้คิด (Regulation of cognition) โดยมีองค์ประกอบย่อย 4 องค์ประกอบ คือ การวางแผน (planning) กลยุทธ์การจัดการข้อมูล (information management strategies) การกำกับความเข้าใจ (comprehension monitoring)

กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (debugging strategies) และการประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้ (evaluation)

โดยมีนิยามของแต่ละองค์ประกอบด้งนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (declarative knowledge) หมายถึง ความรู้ หรือความตระหนักเกี่ยวกับตนเองในฐานะผู้เรียน และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อผลการเรียนของตนเอง

2) ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (procedural knowledge) หมายถึง ความรู้ หรือ ความตระหนักเกี่ยวกับความสามารถในการทำงานต่างๆ หรือกิจกรรมที่เกี่ยวกับการเรียน

3) ความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทางานให้สำเร็จ (conditional knowledge) หมายถึง ความรู้ วาเมื่อไรควรหรือไม่ควรใช้กระบวนการ ทักษะ หรือกลยุทธ์ต่างๆ ในระหว่างการเรียน เพื่อให้การเรียนประสบความสำเร็จ

4) การวางแผน (planning) หมายถึง การคัดเลือกกลยุทธ์และทรัพยากรที่เหมาะสม เพื่อให้ การเรียนประสบความสำเร็จ

5) การยุทธ์การจัดการข้อมูล (information management) หมายถึง การจัดการข้อมูลและใช้กลยุทธ์การเรียน

6) การกากับตรวจสอบความรู้ความเข้าใจ (comprehension monitoring) หมายถึง การประเมินความเข้าใจ กลยุทธ์การเรียน และผลลัพธ์ของการปฏิบัติงาน

7) กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (debugging strategies) หมายถึง การจัดการแก้ไขข้อบกพร่องในการเรียนของตนเอง

8) การประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้ (evaluation) หมายถึง การตรวจสอบ ความสมบูรณ์ของผลการเรียน ผลลัพธ์ของงาน และประสิทธิภาพของการทำงาน หลังจากสิ้นสุดการเรียนหรือ การทำงานแล้ว

4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอภิปัญญาและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐาน

งานวิจัยของ Mason (1994) สำรวจความเชื่อมโยงระหว่างการตระหนักรู้ทางอภิปัญญา (metacognition) การใช้การเปรียบเทียบ (analogy) และการเปลี่ยนแปลงแนวคิด โดยเน้นว่าการใช้การเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ได้อย่างไร การวิจัยนี้ดำเนินการกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 60 คนในหัวข้อระบบไหลเวียนโลหิต โดยใช้ระบบการส่งจดหมายเป็นการเปรียบเทียบเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจการไหลเวียนของเลือด การตระหนักรู้ทางอภิปัญญามีบทบาทสำคัญในการช่วยให้นักเรียนสามารถใช้การเปรียบเทียบเพื่อสร้างความเข้าใจเชิงแนวคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยใช้วิธีการเชิงคุณภาพในห้องเรียน โดยเริ่มจากการประเมิน

ความรู้พื้นฐานของนักเรียนเกี่ยวกับระบบไหลเวียนโลหิต ผ่านการสัมภาษณ์และแบบทดสอบ จากนั้นนักเรียนเข้าร่วมกิจกรรมเชิงปฏิสัมพันธ์ 8 ครั้ง ที่ส่งเสริมให้พวกเขาอภิปราย สร้างแบบจำลอง และเชื่อมโยงแนวคิดระบบไหลเวียนโลหิตกับระบบการส่งจดหมาย การประเมินภายหลังการสอนตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเปรียบเทียบและการตระหนักรู้ทางอภิปัญญา

ผลการศึกษาพบว่าผู้ที่สามารถระบุความคล้ายคลึงเชิงโครงสร้างระหว่างสองระบบ เช่น การไหลเวียนสองทางของเลือดกับเส้นทางการเดินทางของพนักงานส่งจดหมาย มีการเปลี่ยนแปลงแนวคิดที่ชัดเจน นักเรียนที่ตระหนักถึงจุดมุ่งหมายของการเปรียบเทียบสามารถเชื่อมโยงข้อมูลใหม่เข้ากับความเข้าใจเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเปรียบเทียบบทบาทของหัวใจกับสำนักงานไปรษณีย์ช่วยให้นักเรียนเข้าใจการไหลเวียนของเลือดในปอดและระบบเลือดทั่วร่างกายได้ดีขึ้นอย่างไรก็ตาม การศึกษายังพบความเข้าใจผิดบางประการ เช่น ความเชื่อว่าหัวใจสร้างเลือด หรือออกซิเจนถูกดูดซึมโดยตรงจากสมอง ซึ่งสะท้อนความท้าทายในการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับแนวคิดใหม่ การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบเมื่อรวมกับกลยุทธ์การตระหนักรู้ทางอภิปัญญาสามารถช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนจากความเข้าใจแบบพื้นฐานไปสู่แนวคิดที่แม่นยำและบูรณาการมากยิ่งขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยภาพรวม Mason (1994) พบบทบาทสำคัญของการตระหนักรู้เชิงอภิปัญญา (Metacognitive Awareness) ในการช่วยให้นักเรียนสามารถตรวจสอบและบูรณาการความรู้ใหม่พร้อมทั้งเข้าใจวัตถุประสงค์ของการใช้ตัวเปรียบเทียบในการเรียนการสอน นักเรียนที่มีการตระหนักรู้เชิงอภิปัญญาสูงจะสามารถระบุช่องว่างในความรู้ของตนเอง รับรู้ถึงความเข้าใจผิดที่เกิดขึ้น และปรับความเชื่อของตนให้เหมาะสมผ่านการใช้เหตุผลเชิงเปรียบเทียบในแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น ระบบไหลเวียนโลหิต กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการควบคุมตนเองและการบูรณาการแนวคิดใหม่ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้อง (Mason, 1994; Kritikos & Dimitracopoulou, 2014)

งานวิจัยโดย Papaevripidou, Constantinou, และ Zacharia (2007) ศึกษาการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยเปรียบเทียบวิธีการใช้เครื่องมือคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Stagecast Creator (SC) กับวิธีการแบบดั้งเดิมที่ใช้ใบงาน งานวิจัยนี้มุ่งประเมินการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง 6 ด้านและความเข้าใจในแนวคิดระบบนิเวศ โดยทำการศึกษาในโรงเรียนเขตชานเมืองประเทศไซปรัส กลุ่มทดลอง ได้ใช้ SC ในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองระบบนิเวศทางทะเล ส่วนกลุ่มควบคุม ใช้ใบงานแบบดั้งเดิมเน้นนิยามแนวคิดแบบคงที่ โดยกลุ่มทดลอง ใช้ SC ในการสร้าง ทดสอบ และแก้ไขแบบจำลอง โดยเชื่อมโยงกับพฤติกรรมและกระบวนการในระบบนิเวศ ส่วนกลุ่มควบคุม เน้นกิจกรรมแบบคงที่ที่ไม่ได้ส่งเสริมการโต้ตอบ ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มทดลอง มีผลการเรียนรู้สูงกว่ากลุ่มควบคุม ในทุกด้านของทักษะการสร้าง

แบบจำลอง เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล การประเมินแบบจำลอง และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล กลุ่มทดลองยังสามารถถ่ายทอดทักษะเหล่านี้ไปยังบริบทใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยเน้นว่าการใช้ SC ช่วยส่งเสริมการมีส่วนร่วมทางอภิปัญญานักเรียนได้พัฒนาความเข้าใจผ่านกระบวนการสร้างและตรวจสอบแบบจำลอง การเรียนรู้แบบนี้ช่วยให้นักเรียนตระหนักถึงบทบาทของแบบจำลองในการทำความเข้าใจ ทดสอบสมมติฐาน และคาดการณ์ผล งานวิจัยสรุปว่าวิธีการสอนที่ใช้เครื่องมืออย่าง SC ช่วยพัฒนาทักษะอภิปัญญา ความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้ง ซึ่งสามารถปรับใช้ในกระบวนการสอนเพื่อยกระดับการเรียนรู้ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กล่าวโดยสรุป Papaevripidou, Constantinou & Zacharia (2007) ได้เน้นย้ำว่าผู้เรียนที่สามารถกำกับการเรียนรู้ด้วยตนเองได้ดีไม่เพียงต้องการทักษะทางปัญญาเท่านั้น แต่ยังต้องมีความรู้เชิงอภิปัญญาเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลองอีกด้วย นักเรียนที่มีความสามารถเชิงอภิปัญญาที่พัฒนามาอย่างดีจะสามารถควบคุมการเรียนรู้ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกได้ดียิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น Louca & Zacharia (2012) ยังโต้แย้งว่าการสร้างแบบจำลองในวิทยาศาสตร์อย่างประสบความสำเร็จต้องอาศัยทั้งองค์ประกอบทางปัญญา (Cognitive Skills) และอภิปัญญา (Metacognitive Skills) การผสมผสานทักษะทั้งสองนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีแนวทางการเรียนรู้ที่เน้นการสะท้อนคิดเพื่อทำความเข้าใจแบบจำลองได้ดียิ่งขึ้น (Hidayat et al., 2021)

มหาวิทยาลัย
สุโขทัยธรรมาธิราช

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร ได้แก่ นักศึกษาที่เรียนวิชาชีวเคมีพื้นฐานและชีวเคมี 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะวิทยาศาสตร์ จำนวนประมาณ 500 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาที่เรียนวิชาชีวเคมีพื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2566 จำนวน 159 คน ได้มาโดยการเลือกตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม

การได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่าง ประชากรแบ่งเป็นทั้งหมด 7 สาขาวิชาเอก ได้แก่

- เอกชีววิทยา	คณะวิทยาศาสตร์
- เอกเคมี	คณะวิทยาศาสตร์
- เอกจุลชีววิทยา	คณะวิทยาศาสตร์
- เอกวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	คณะวิทยาศาสตร์
- เอกเคมีประยุกต์และจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม	คณะวิทยาศาสตร์
- เอกเทคโนโลยีอาหาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- เอกเทคโนโลยีชีวภาพ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการสุ่มเลือกนักศึกษา 2 สาขาวิชาเอกที่ลงเรียนวิชาในภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2566 นักศึกษาทุกคนได้รับเอกสารขอความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย และมีอาสาสมัครเข้าร่วมทั้งหมด 137 คน คิดเป็นร้อยละ 86.2 โดยนักศึกษา 2 สาขาวิชาเอกนี้ได้รับการทำกิจกรรมพร้อมกันทั้งหมด

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง (Quasi-experiment design) แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน (Pre- and post-test) โดยกลุ่มตัวอย่างมีเพียงกลุ่มเดียวและได้รับการทำแบบทดสอบก่อนเรียน หลังจากนั้นจึงมีการทำกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้พร้อมกันเป็นเวลา 18 คาบ แล้วตามด้วยการทำแบบประเมินอภิปัญญา และแบบทดสอบหลังเรียน ตามลำดับ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม (ภาคผนวก ก.) ประกอบด้วยแผนกิจกรรมที่เน้นการเปรียบเทียบเนื้อหาในหัวข้อเมแทบอลิซึม ซึ่งเป็นแผนที่พัฒนามาจากประสบการณ์ของผู้สอนชีวเคมี โดยเลือกหัวข้อที่มีเนื้อหาเน้นกลไกและกระบวนการเปลี่ยนแปลง และสามารถเข้ากันได้กับการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบ โดยแบ่งเป็นทั้งหมด 3 แผนการสอน ดังนี้

3.1 สายพานการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในหัวข้อหลัก Basic Concepts of Metabolic pathways

3.2 การยืนเรียงเพื่อขนส่งน้ำ (bucket brigade) ใช้ในหัวข้อหลัก Electron carriers

3.3 การฝากของผ่านยามเฝ้าประตู ใช้ในหัวข้อหลัก Shuttle mechanism

กิจกรรมจะใช้การเปรียบเทียบแบบ FAR โดยแบ่งเป็นทั้งหมด 6 ขั้น ตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 โดยทั้ง 3 แผนมีการตรวจสอบคุณภาพของแผนโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตามรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ข. และแผนการเรียนรู้ได้ค่าความสอดคล้องด้านเนื้อหา (Index of Item Objective Congruence, IOC) เท่ากับ 1.00

ตารางที่ 3.1 ลำดับขั้นในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้

การสร้างแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบ (Analogy modeling) แบบ FAR	**การสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยการเปรียบเทียบ**
หาจุดสนใจ (Focus)	1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน เพื่อนำมาใช้สร้างตัวอุปมาน 2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับแนวคิดใหม่
ลงมือปฏิบัติ (Action)	3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย 4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน
สะท้อนคิด (Reflection)	5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง 6. ขั้นขยายแบบจำลอง

รายละเอียดแผนการสอน เป็นดังนี้

รายวิชา ชีวเคมีพื้นฐาน (BASIC BIOCHEMISTRY)

หน่วยกิต 3(3-0-6) ประกอบด้วย

บรรยาย	3	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ปฏิบัติการ	0	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ศึกษาด้วยตนเอง	6	ชั่วโมงต่อสัปดาห์

ชื่อหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ภาคการศึกษาที่ 2 / ชั้นปีที่ 2

ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของรายวิชา (CLOs)

CLO1 มีความซื่อสัตย์ สุจริต และความรับผิดชอบ

CLO2 สามารถอธิบายกลไกการควบคุมการทำงานของเอนไซม์

CLO3 สามารถจำแนกและอธิบายโครงสร้าง และคุณสมบัติทางเคมีของสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต

CLO4 สามารถอธิบายหน้าที่ของสารชีวโมเลกุลชนิดต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิตได้อย่างถูกต้อง

CLO5 สามารถอธิบายกลไกเมแทบอลิซึมของสารชีวโมเลกุลและกระบวนการควบคุมเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต

CLO6 สามารถอธิบายหลักการทางเทคนิคพื้นฐานทางชีวเคมีและใช้อธิบายการค้นพบปรากฏการณ์ทางชีวเคมีได้

ตารางที่ 3.2 แผนการสอนในการวิจัย

ลำดับที่	หัวข้อ	จำนวนชั่วโมงกิจกรรม	แผนการเปรียบเทียบแบบ FAR ที่ใช้	แบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ใช้
1	Basic Concepts of Cellular Metabolism and Bioenergetics	2	**แผนที่ 1** สายพานการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม	**ข้อ 1** แผนภาพการควบคุมการวิถีเมแทบอลิซึม
2	Glycolysis	2		**ข้อ 2** แผนภาพการควบคุมไกลโคไลซิส
3	Glycogen Metabolism and Other Carbohydrate Metabolism	2		
4	Citric Acid Cycle	2		
5	Oxidative Phosphorylation	2	**แผน 2** การยืนเรียงเพื่อขนส่งน้ำ (bucket brigade)	**ข้อ 3** สารยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอน
6	Nitrogen Metabolism	3		
7	Lipid Metabolism	3	**แผน 3** การฝากของผ่านยามเฝ้าประตู	**ข้อ 4** ระบบ Shuttle mechanism
8	Integration of Metabolism	2		
	รวม	18	3 แผน	4 ข้อ

ตัวอย่างอย่างย่อของแผนกิจกรรมที่ 1 หัวข้อ Basic Concepts of Metabolic pathways โดยรายละเอียดของแผนการจัดการเรียนรู้ฉบับสมบูรณ์แสดงในภาคผนวก ก.

<u>แผนกิจกรรม 1</u> Basic Concepts of Metabolic pathways

หัวข้อ Basic Concepts of Cellular Metabolism and Bioenergetics

กิจกรรมการเรียนรู้

หาจุดสนใจ (Focus)

1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน

ผู้สอนพิจารณาว่าลักษณะของ metabolic pathways มีความคล้ายคลึงกับสิ่งใดในชีวิตประจำวันของผู้เรียนที่มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้ เช่น แผนผังการเดินรถไฟฟ้า แผนสายพานการผลิต เป็นต้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจใช้แผนสายพานการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นตัวอุปมาน

2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน

2.1 ผู้สอนดึงความสนใจของผู้เรียน โดยใช้ชมคลิปวิดีโอ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวกล่องโดยเครื่องจักรและสายพาน

2.2 ผู้สอนสอบถามผู้เรียนว่ากระบวนการหุงข้าวที่เห็นมีขั้นตอนอะไรบ้าง และต้องใช้เครื่องมือกี่เครื่อง อะไรบ้าง รวมถึงหม้อที่ใช้มีการหมุนเวียนอย่างไร

ลงมือปฏิบัติ (Action)

3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย

3.1 ผู้เรียนระบุองค์ประกอบของกระบวนการหุงข้าวโดยเครื่องจักรและสายพาน

3.2 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันพิจารณาเปรียบเทียบตัวอุปมาน (Analogy) กับเป้าหมาย (Target) ที่ รวมถึงแนวคิดที่ต้องการให้ผู้เรียนได้รับ

4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน

ผู้เรียนจับกลุ่มกันและพยายามร่วมกันสร้างแบบจำลองกระบวนการ เพื่อแสดงกระบวนการหุงข้าวสวยจากเครื่องจักร

สะท้อนคิด (Reflection)

5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง

5.1 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อประเมินว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเกิดปัญหาหรือมีข้อบกพร่องอะไรบ้าง โดยทำการตรวจสอบด้วยข้อคำถาม เช่น

1) จะเกิดอะไรขึ้นหากขาดน้ำที่ใช้ซาวข้าว และน้ำที่ซาวเสร็จแล้วเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์หรือไม่

2) หม้อที่หุงข้าวเสร็จแล้วไปไหน เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์หรือไม่

5.2 ผู้สอนถามคำถามเพื่อขยายขอบเขตการทำงานของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เช่น

1) ถ้าเลือกปิดเครื่องได้เพียงเครื่องเดียว จะปิดเครื่องไหน เพราะอะไร

2) มีขั้นตอนใดบ้างที่หากปล่อยผ่านไปแล้ว จะไม่สามารถหวนคืนได้อีก

ในกระบวนการนี้ผู้เรียนจะได้เชื่อมโยงถึงแนวคิดทางชีวเคมีถึงปฏิกิริยาที่ผันกลับได้และผันกลับไม่ได้ รวมถึงแนวทางการควบคุมวิถีในเมแทบอลิซึม

5.2 ผู้สอนเปรียบเทียบแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ได้จากการเปรียบเทียบ เข้ากับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่เป้าหมาย อภิปรายจุดเหมือนและจุดที่แตกต่าง รวมถึงชี้ให้เห็นข้อเด่นข้อด้อยของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

5.3 ผู้เรียนร่วมกันดัดแปลงแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายหรือเชื่อมโยงหรือสอดคล้องกับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป้าหมายให้มากที่สุด

6. ขั้นขยายแบบจำลอง

6.1 ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ใหม่ที่ใกล้เคียงกัน เช่น เปลี่ยนจากวิถีไกลโคไลซิส เป็นวิถีอื่น ๆ ที่มีการเชื่อมโยงกัน เช่น วิถีกลูโคนีโอเจเนซิส วิถีเพนโทส ฟอสเฟต วิถีการสังเคราะห์และสลายไกลโคเจน เป็นต้น

6.2 แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (ภาคผนวก ข.)

ประกอบด้วยแบบทดสอบก่อนและหลังเรียนที่เป็นข้อสอบแบบคู่ขนาน กล่าวคือเป็นแบบทดสอบที่วัดในประเด็นเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในเนื้อหาหรือรายละเอียดของคำถามทั้งก่อนและหลังเรียน

แบบทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. แบบทดสอบก่อนเรียน จำนวน 4 ข้อหลัก รวม 9 ข้อย่อย ใช้เวลาทำประมาณ 20 นาที

2. แบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 4 ข้อหลัก รวม 9 ข้อย่อย ใช้เวลาทำประมาณ 20 นาที

รายละเอียดของแบบทดสอบและเกณฑ์การวัดคะแนนแสดงในภาคผนวก ข. โดยข้อสอบทั้งก่อนและหลังกิจกรรม ใช้ในการทดสองความสามารถเกี่ยวกับการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการมาใช้ ดังนี้

ข้อ 1 เกี่ยวกับ การควบคุมการทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมแทบอลิซึม เป็นคำถามแบบอัตนัย 3 ข้อย่อย

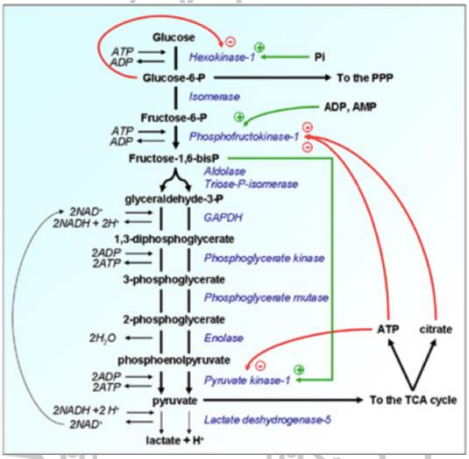
ข้อ 2 เกี่ยวกับ การใช้แผนภาพไกลโคไลซิสเพื่อทำนายปริมาณกรดแลคติกในสถานการณ์ต่างๆ เป็นคำถามแบบอัตนัย 4 ข้อย่อย

ข้อ 3 เกี่ยวกับ การยับยั้งในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เป็นคำถามแบบปรนัย 5 ตัวเลือก 1 ข้อย่อย พร้อมทั้งให้วาดรูปแสดงแบบจำลองแนวคิดกระบวนการประกอบคำตอบ

ข้อ 4 เกี่ยวกับ ระบบ Shuttle mechanism เป็นคำถามแบบอัตนัย 1 ข้อย่อย พร้อมทั้งให้วาดรูปแสดงแบบจำลองแนวคิดกระบวนการประกอบคำอธิบาย

แบบทดสอบทุกข้อได้รับการประเมินความถูกต้องและสอดคล้องด้านเนื้อหา และจุดประสงค์ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านจากคณะศึกษาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ (ตามรายนามในภาคผนวก ข.) และได้ค่าค่าความเที่ยงตรง (Index of item objective congruence, IOC) เป็น 1.00

ตัวอย่างของข้อคำถามในข้อที่ 2 จากแผนภาพการเกิด Glycolysis ด้านล่าง



หากนักศึกษาต้องการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณมาก ๆ โดยใช้ lactic acid bacteria และใช้กลูโคสเป็นสารอาหารหลัก ให้พิจารณาว่าในสถานการณ์ที่มีการเติมสารต่าง ๆ ให้กับแบคทีเรียต่อไปนี้จะทำให้ผลผลิตกรดแลคติก **มากขึ้น** หรือ **น้อยลง** พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ (ข้อละ 2 คะแนน)

2.1 ลดปริมาณ Glucose

2.2 เติม Na_2HPO_4

ตัวอย่างแนวคำตอบ

2.1 น้อยลง เนื่องจาก Glucose คือสารตั้งต้นในการผลิตกรดแลคติก หากลดปริมาณ Glucose ก็จะทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกน้อยตามไปด้วย

2.2 มากขึ้น เนื่องจากในแผนภาพ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}/P_i) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Hexokinase-1 ซึ่งจะเพิ่มการทำงานของ Glycolysis pathway และเพิ่มโอกาสผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น

เกณฑ์ในการตรวจให้คะแนน

เกณฑ์การให้คะแนนในข้อนี้พิจารณาว่าผู้เรียนสามารถใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการในการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบหรือไม่ โดยจะพิจารณาจากคำตอบที่ถูกต้อง และการให้เหตุผลที่สนับสนุนเชื่อมโยงถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยเฉพาะเหตุผลที่สนับสนุนการทำงานของเอนไซม์ทั้งในแง่ของตัวกระตุ้นและตัวยับยั้งของเอนไซม์ในระบบ รวมถึงกระบวนการเกิด Feedback inhibition เป็นต้น

รายละเอียดของแบบวัด เกณฑ์การวัดผล และการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือแสดงในภาคผนวก ข.

1. แบบวัดอภิปัญญา ที่พัฒนาโดย Schraw & Dennison, (1994) (ภาคผนวก ค.)

แบบวัดอภิปัญญาได้มาจากแบบของ Schraw, & Dennison, (1994) และได้รับการแปลและเรียบเรียงโดย สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (2559) มีทั้งหมด 52 ข้อ โดยได้ทำการทดสอบในนักศึกษาระดับมัธยมศึกษาจำนวน 2,667 คน พบว่ามีค่าความเที่ยงโดยใช้ค่าสัมประสิทธ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's α) อยู่ที่ 0.94 และค่าอำนาจจำแนกรายข้ออยู่ในช่วง 0.32-0.55 (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2559) อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามชุดนี้ไปทดสอบกับนักศึกษาที่อยู่ในวิชาเอกเดียวกันแต่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 226 คน พบว่าได้ค่าสัมประสิทธ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's α) อยู่ที่ 0.938 (ภาคผนวก ค.)

แบบวัดอภิปัญญาของ Schraw, & Dennison, (1994) แบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบหลัก 8 องค์ประกอบย่อย รวมทั้งหมด 52 ข้อ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของแบบวัดอภิปัญญาโดย Schraw & Dennison, (1994)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	จำนวนข้อ	หมายเลขข้อ
ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (Knowledge of cognition)	ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี Declarative knowledge (DK)	8	5/10/12/16/17/20/32/46
	ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน Procedural knowledge (PK)	4	3/14/27/33
	ความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทำงานให้สำเร็จ Conditional knowledge (CK)	5	15/18/26/29/35

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	จำนวนข้อ	หมายเลขข้อ
	การวางแผน Planning (P)	7	4/6/8/22/23/42/45
	กลยุทธ์การจัดการข้อมูล Information management strategies (IMS)	10	9/13/30/31/37/39/41/43/47/48
การควบคุมการรู้คิด (Regulation of cognition)	การกำกับความเข้าใจ Comprehension monitoring (CM)	7	½/11/21/28/34/49
	กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด Debugging strategies (DS)	5	25/40/44/51/52
	การประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้ Evaluation €	6	7/19/24/36/38/50

4. การเก็บรวมรวมข้อมูล

4.1 นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ลงทะเบียนเรียนวิชาชีวเคมีพื้นฐานจะได้รับเอกสารชี้แจงเข้าร่วมการวิจัย และสามารถแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยผ่านทางระบบออนไลน์ MS Forms

4.2 ก่อนเริ่มเรียนเนื้อหาในหัวข้อเมแทบอลิซึม นักศึกษาจะได้ทำแบบทดสอบเพื่อวัดแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เป็นเวลา 20 นาที

4.3 ทำกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ทั้งหมด 18 ชั่วโมง

4.4 หลังทำกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR ประมาณ 1 สัปดาห์นักศึกษาได้ทำแบบทดสอบเพื่อวัดอภิปัญญา และหลังจากนั้นอีก 1 สัปดาห์นักศึกษาได้ทำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ค่าสถิติพรรณนาของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนและหลังทำกิจกรรม รวมถึงค่าที่ได้จากแบบวัดอภิปัญญา โดยค่าสถิติที่วัด ได้แก่

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ย ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ค่าน้อยสุด (Min) ค่ามากสุด (Max) รวมถึงการวิเคราะห์ Shapiro-Wilk เพื่อประเมินความเป็นปกติของการกระจายข้อมูล

5.1.1 การวิเคราะห์ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

ผลคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนและหลังทำกิจกรรมจะถูกนำมาว่าเคราะห์ค่า <g> หรือค่าความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain score) โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$Normalized\ gain\ (g) = \frac{\%posttest - \%pretest}{100 - \%pretess}$$

เมื่อ %posttest และ %pretest คือ ร้อยละของคะแนนของแบบทดสอบหลังเรียนและก่อนเรียน ตามลำดับ

5.1.2 การวิเคราะห์เกณฑ์คุณภาพของอภิปัญญา

เนื่องจากแบบวัดความตระหนักรู้ของอภิปัญญาของ Schraw, & Dennison, (1994) ในแต่ละองค์ประกอบย่อยมีคะแนนเต็มที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น Asy'ari et al. (2019) ได้มีการเสนอเกณฑ์คุณภาพของอภิปัญญา โดยให้ปรับคะแนนในทุกเกณฑ์ย่อยให้เป็น 4 แล้วพิจารณาตามเกณฑ์ ดังนี้

ช่วงคะแนนมากกว่า 3.33 ถึง 4.00	ความหมาย	สูงมาก
ช่วงคะแนนมากกว่า 2.33 ถึง 3.33	ความหมาย	สูง
ช่วงคะแนนมากกว่า 1.33 ถึง 2.33	ความหมาย	พอใช้
ช่วงคะแนนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.33	ความหมาย	ต่ำ

5.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของอภิปัญญาและแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนและหลังด้วย dependent t-test โดยหากข้อมูลมีการการกระจายข้อมูลเป็นแบบปกติ จะวิเคราะห์ด้วย dependent t-test แต่หากข้อมูลไม่มีการกระจายตัวแบบปกติ จะวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-parametric) ได้แก่ Wilcoxon signed-rank test โดยในการวิเคราะห์นี้จะทำทั้งแบบคะแนนรวมและแบบแยกรายข้อทั้ง 4 ข้อ

5.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอภิปัญญาและแบบจำลองแนวคิดกระบวนการด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) โดยหากข้อมูลมีการการกระจายข้อมูลเป็นแบบปกติจะวิเคราะห์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)

แต่หากข้อมูลไม่มีการกระจายตัวแบบปกติ จะวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-parametric) ได้แก่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's Correlation Coefficient) โดยเกณฑ์คุณภาพความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งของเพียร์สันและสเปียร์แมน (r) สามารถตีความได้ตามเกณฑ์ของ Dancey & Reidy (2007) ได้ดังนี้

1.00	หมายความว่า	มีความสัมพันธ์สมบูรณ์
0.7 – 0.9	หมายความว่า	มีความสัมพันธ์สูงมาก
0.4 – 0. 6	หมายความว่า	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
0.1 – 0.3	หมายความว่า	มีความสัมพันธ์ต่ำ
0	หมายความว่า	ไม่มีความสัมพันธ์

6. การรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

งานวิจัยนี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร รหัสโครงการ REC 67.0122-009-0353 และหมายเลขรับรอง COE 67.0122-005 โดยมีการเข้าถึงอาสาสมัคร ขอความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย และปกปิดตัวตนของอาสาสมัครเป็นไปตามหลักเกณฑ์และหลักจริยธรรมในประเทศและสากล หนังสือรับรองจริยธรรมวิจัยแสดงในภาคผนวก ง.

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยและการแปลความหมายข้อมูล ได้ทำการใช้สัญลักษณ์และคำทับศัพท์ดังต่อไปนี้ เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน

N	Number	แทน จำนวนอาสาสมัคร
SD	Standard deviation	แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SE	Standard error	แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
CI	Confidence interval	แทน ช่วงความเชื่อมั่น
<g>	Normalized gain score	แทน ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน
W	W statistic	แทน ค่าสถิติ W
z	z statistic	แทน ค่าสถิติ z
r	r statistic	แทน ค่าสถิติ r
df	Degree of freedom	แทน จำนวนค่าอิสระ
p	p statistic	แทน ค่าสถิติ p
DK	Declarative knowledge	แทน ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี
PK	Procedural knowledge	แทน ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน
CK	Conditional knowledge	แทน ความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทำงานให้สำเร็จ
P	Planning	แทน การวางแผน
IMS	Information management strategies	แทน กลยุทธ์การจัดการข้อมูล
CM	Comprehension monitoring	แทน การกำกับความเข้าใจ
DS	Debugging strategies	แทน กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด
E	Evaluation	แทน การประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้
MA	Metacognitive awareness	แทน คะแนนรวมการตระหนักรู้ทางอภิปัญญา

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม

1.1 ค่าสถิติพรรณนาของคะแนนรวมการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนและหลังการเรียนโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR

จากการทดสอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการทั้ง 4 ข้อ โดยทำการวัดคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยแบบทดสอบคู่ขนาน ได้ผลเป็นดังแสดงในตาราง 4.1 จากตารางพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของคะแนนรวม จาก 9.097 คะแนน ไปเป็น 13.710 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน โดยมีค่า <g> หรือค่าความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain score) เป็น 0.165 แสดงว่าโดยเฉลี่ยผู้เรียนได้คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเพิ่มขึ้นประมาณ 16.5% โดยสรุปจะเห็นได้ว่า การเพิ่มขึ้นของคะแนนเฉลี่ยจากก่อนเรียนถึงหลังเรียนบ่งชี้ถึงผลกระทบเชิงบวกของความสามารถในการการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR

ตารางที่ 4.1 ค่าสถิติพรรณนาของคะแนนความสามารถในการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

รายการ	ก่อนเรียน	หลังเรียน	<g>
จำนวน (N)	137	159	137
ค่าเฉลี่ย (Mean)	9.097	13.710	0.165
95% CI Mean Upper	9.832	14.991	0.208
95% CI Mean Lower	8.362	12.429	0.122
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	4.350	8.177	0.257
Skewness	0.882	0.730	0.518
Std. Error of Skewness	0.207	0.192	0.207
Kurtosis	2.459	-0.041	0.204
Std. Error of Kurtosis	0.411	0.383	0.411
Shapiro-Wilk	0.953	0.948	0.976
P-value of Shapiro-Wilk	< .001	< .001	0.017
ค่าน้อยสุด (Min)	0.000	0.625	-0.340
ค่ามากสุด (Max)	27.792	38.571	0.949

เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติพรรณนามีค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ของข้อมูลทั้ง 3 ค่า พบว่า ค่าความเบ้ซึ่งแสดงถึงความไม่สมมาตรของการกระจายของคะแนน สำหรับค่าก่อนเรียน ความเบ้มีค่า 0.882 ซึ่งบ่งชี้ถึงความเบ้บวกปานกลาง สำหรับค่าหลังเรียน ความเบ้มีค่า 0.730 ซึ่งแสดงถึงความเบ้บวกเช่นกันแต่ในระดับที่น้อยกว่า ส่วนค่า <g> มีความเบ้ 0.518 ซึ่งบ่งชี้ถึงความเบ้บวกที่ค่อนข้างน้อย

ค่าความโด่งบ่งบอกถึงความสูงของยอดการกระจาย สำหรับค่าความโด่งของคะแนนก่อนเรียนมีค่า 2.459 ซึ่งบ่งชี้ถึงการกระจายที่ค่อนข้างแบนราบเมื่อเทียบกับการกระจายแบบปกติ คะแนนหลังเรียนมีความโด่ง -0.041 ซึ่งบ่งชี้ถึงการกระจายที่ค่อนข้างแบนราบเล็กน้อย (แบนราบกว่าปกติ) ความโด่งสำหรับ <g> คือ 0.204 ซึ่งบ่งชี้ถึงการกระจายที่ค่อนข้างปกติในแง่ของความสูงของยอด

การทดสอบ Shapiro-Wilk ประเมินความเป็นปกติของการกระจายข้อมูล สำหรับคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน ค่า Shapiro-Wilk (W) คือ 0.953 และ 0.948 ตามลำดับ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.001 ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการกระจายทั้งของคะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียนเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญจากความเป็นปกติ ค่า Shapiro-Wilk สำหรับ "<g>" คือ 0.976 โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.017 ซึ่งบ่งชี้ถึงการเบี่ยงเบนเล็กน้อยจากความเป็นปกติ

โดยสรุป ค่าสถิติเชิงพรรณนาแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการเรียนรู้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความเบ้ ความโด่ง และการทดสอบ Shapiro-Wilk พบว่าการกระจายของข้อมูลทั้งของคะแนนก่อนเรียน คะแนนหลังเรียน และค่า <g> มีการเบี่ยงเบนจากการกระจายตัวแบบเป็นปกติ ตามหลักการแล้วในการวิเคราะห์สถิติอนุมานในขั้นต่อไป ควรเลือกใช้การวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-parametric) แทนการทดสอบแบบใช้พารามิเตอร์ อย่างไรก็ตาม จากทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central limit theorem) พบว่าหากจำนวนตัวอย่างมีค่ามาก อาจใช้การทดสอบแบบใช้พารามิเตอร์ได้ ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงเลือกทำการวิเคราะห์ทั้งสองอย่างควบคู่กัน

1.2 ค่าสถิติอนุมานของคะแนนรวมความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนและหลังการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์สถิติ Paired Sample T-Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนนรวมก่อนและหลังเรียน โดยเลือกใช้ค่าสถิติทั้งแบบ Student T-Test และ Wilcoxon signed-rank test ผลการทดสอบ Student T-Test พบว่าได้ $t(136)= -7.690$, $p<.001$, Effect size = -0.657 ซึ่งค่า Effect size คำนวณจากค่า Cohen’s d มีขนาดปานกลางจนถึงมาก แสดงว่าตัวแปรต้นส่งผลต่อความสามารถในการใช้โมเดลในระดับปานกลางจนถึงสูง

ผลการทดสอบ Wilcoxon signed-rank test พบว่าคะแนนหลังเรียนมีค่ามากกว่าคะแนนก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ W=1712.5, z = -6.476, p <.001, Effect size = -0.638 แสดงการเรียนโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐาน สามารถช่วยให้ความสารถในการใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการได้ขึ้น โดยมีค่าขนาดของผล (Effect size) คำนวณจาก Matched rank biserial correlation อยู่ในระดับใหญ่มาก แสดงว่าตัวแปรต้นส่งผลต่อความสามารถในการใช้โมเดลในระดับสูงมาก

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีร่วมกันพบว่าผลวิเคราะห์ออกมาในทิศทางเดียวกัน คือได้ค่า p <.001 ซึ่งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า Effect size ปานกลางจนถึงสูง

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนด้วยการทดสอบ Paired Sample T-Test

	การทดสอบ	Statistic	z	f	p	Effect Size	SE Effect Size
ก่อน - หลัง	Student	-7.690		136	< .001	-0.657	0.108
	Wilcoxon	1712.500	-6.476		< .001	-0.638	0.098

1.3 ค่าสถิติพรรณนาและสถิติอนุมานของคะแนนแบบจำลองแนวคิดกระบวนการแยกรายข้อก่อนและหลังการเรียนโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐาน

ค่าสถิติพรรณนาของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการในรายละเอียดแยกแต่ละข้อทั้ง 4 ข้อ พบว่าได้คะแนน ดังแสดงในตาราง 4.3 จากตารางพบว่าผลการทำ ความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นในข้อ 2-4 แต่ในข้อที่ 1 มีค่าลดลง ดังนี้

ข้อ 1 คะแนนเฉลี่ยลดลงจาก 5.533 คะแนน เหลือ 4.486 คะแนน โดยลดลง 1.047 คะแนน

ข้อ 2 คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 2.755 คะแนน เป็น 4.182 คะแนน โดยเพิ่มขึ้น 1.427 คะแนน

ข้อ 3 คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.569 คะแนน เป็น 3.795 คะแนน โดยเพิ่มขึ้น 3.226 คะแนน

ข้อ 4 คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.195 คะแนน เป็น 1.246 คะแนน โดยเพิ่มขึ้น 1.051 คะแนน

เมื่อพิจารณาในข้อที่ 1 ซึ่งเป็นข้อที่ได้คะแนนลดลง จะเห็นได้ว่าเป็นข้อที่เกี่ยวข้องกับการใช้การควบคุมการทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมแทบอลิซึม ส่วนในข้ออื่น ๆ ที่เหลือมีคะแนนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในข้อที่ 3 ที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน มีคะแนนที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อรวมคะแนนของทุกข้อแล้วยังมีความเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการรายข้อก่อนและหลังทำกิจกรรม

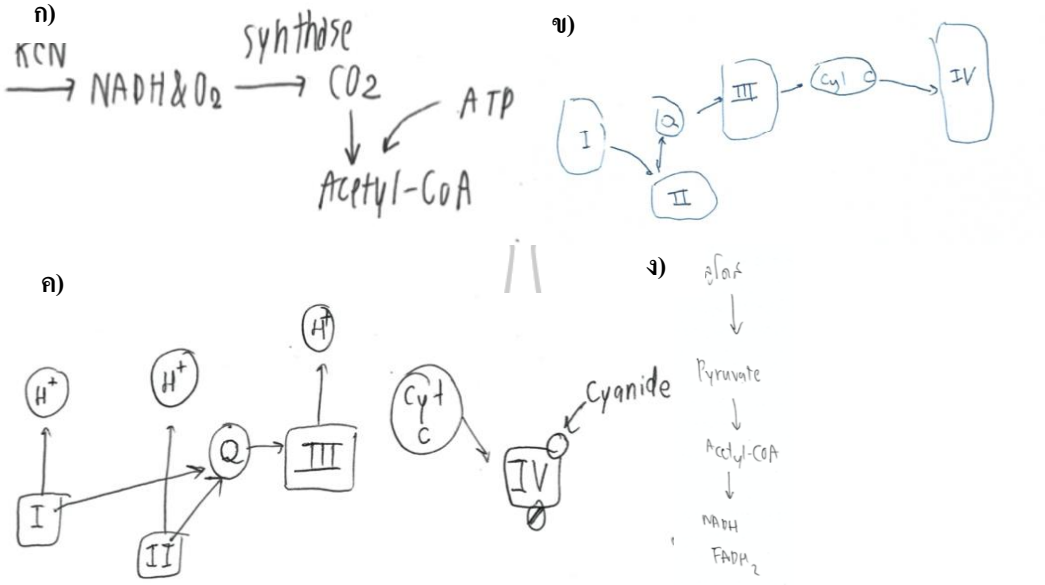
รายการ	**ก่อนเรียน**				**หลังเรียน**			
	ข้อ 1	**ข้อ 2**	**ข้อ 3**	**ข้อ 4**	**ข้อ 1**	**ข้อ 2**	**ข้อ 3**	**ข้อ 4**
จำนวน (N)	137	137	137	137	159	159	159	159
ค่าเฉลี่ย	5.533	2.755	0.569	0.195	4.486	4.182	3.795	1.246
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.223	0.168	0.111	0.090	0.221	0.221	0.286	0.190
95% CI Mean Upper	5.974	3.089	0.790	0.372	4.922	4.619	4.359	1.622
95% CI Mean Lower	5.091	2.422	0.349	0.017	4.051	3.746	3.231	0.871
Std. Deviation	2.612	1.971	1.305	1.051	2.781	2.785	3.600	2.400
Skewness	-0.514	0.668	2.858	7.037	0.003	0.725	0.376	2.578
Std. Error of Skewness	0.207	0.207	0.207	0.207	0.192	0.192	0.192	0.192
Kurtosis	-0.664	0.427	9.772	58.095	-0.624	-0.508	-1.300	6.148
Std. Error of Kurtosis	0.411	0.411	0.411	0.411	0.383	0.383	0.383	0.383
Shapiro-Wilk	0.911	0.918	0.497	0.183	0.867	0.913	0.853	0.570
P-value of Shapiro-Wilk	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
Minimum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Maximum	10.000	8.750	8.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

เมื่อทำการวิเคราะห์สถิติแยกรายข้อแบบ Non-parametric dependent t-test ของผลการทดสอบแบบจำลองแนวคิดกระบวนการทั้ง 4 ข้อแยกตามรายข้อ พบว่าทุกข้อมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < .05$ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนรายข้อด้วยการทดสอบ Wilcoxon signed-rank

ก่อนเรียน - หลังเรียน	**Statistic**	**z**	**p**	**Effect Size**	**SE Effect Size**
ข้อ 1 – ข้อ 1	5640.000	2.133	0.016	0.211	0.099
ข้อ 2 – ข้อ 2	1433.500	6.088	< .001	-0.630	0.103
ข้อ 3 – ข้อ 3	62.500	8.231	< .001	-0.973	0.118
ข้อ 4 – ข้อ 4	104.000	6.117	< .001	-0.893	0.145

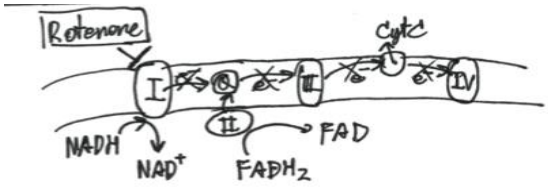
ตัวอย่างของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนเรียน (ภาพที่ 4.1) และหลังเรียน (ภาพที่ 4.2) ในแบบทดสอบข้อ 3 ที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และ ข้อ 4 ที่เกี่ยวข้องกับระบบ Shuttle mechanism แสดงให้เห็นว่า ในช่วงก่อนเรียน ผู้เรียนยังขาดทักษะในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่สมบูรณ์ ดังจะเห็นได้ว่า ผู้เรียนแสดงมโนทัศน์ในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ไม่สมบูรณ์ โดยพบทั้งแบบจำลองที่ไม่ถูกต้อง เช่น การสลับลำดับการเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 4.1 ก)หรือการไม่แสดงเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ เช่น ไม่แสดงการเข้าจับตัวตัวยับยั้ง (ภาพที่ 4.1 ข)หรือไม่ระบุในแบบจำลองว่าตัวยับยั้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบอย่างไร เป็นต้น (ภาพที่ 4.1 ค)



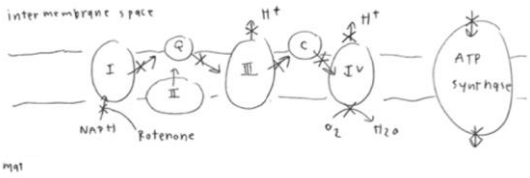
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการก่อนเรียน ก) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีลำดับที่ถูกต้อง ข) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่ไม่ได้แสดงการเข้าจับของตัวยับยั้ง ค) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีตัวยับยั้ง แต่ไม่ได้แสดงผลกระทบของกลไกที่เกิดขึ้น ง) แผนภาพการเกิด Shuttle mechanism ที่ไม่สมบูรณ์

สำหรับผลแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียนที่แสดงตัวอย่างในภาพที่ 4.2 ก-ง แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีทักษะในการสร้างแบบจำลองที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์ และมีการเขียนลูกศรหรือการกำกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงในลูกศร รวมถึงสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงของระบบได้อย่างถูกต้องเมื่อมีการใส่ตัวยับยั้งลงไป โดยแสดงในแบบจำลองให้เห็นถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงของระบบได้อย่างถูกต้อง

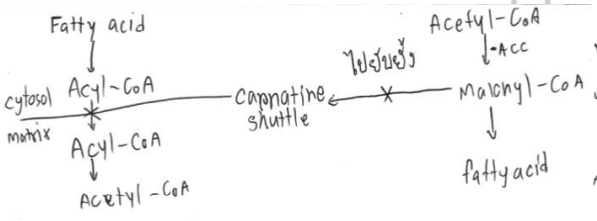
ก)



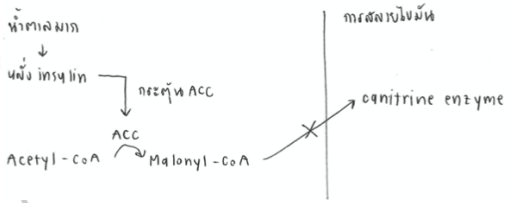
ข)



ค)



ง)



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียน ก-ข) แผนภาพการยับยั้งลูกโซ่การหายใจที่มีลำดับที่ถูกต้อง สมบูรณ์ และมีการแสดงกลไกการทำงานของตัวยับยั้ง และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระบวนการที่เกิดขึ้น ค-ง) แผนภาพการเกิด Shuttle mechanism ที่สมบูรณ์และแสดงการยับยั้งของกระบวนการในระบบ

ตอนที่ 2 ผลศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และระดับอภิปัญญา ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ หลังเรียนโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม

2.1 ระดับอภิปัญญาของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี

ระดับอภิปัญญาที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาสาสมัครในงานวิจัย แสดงในตาราง 4.5 โดยพบว่าค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่พิจารณาจากค่าความเบ้และความโด่ง อยู่ในเกณฑ์ปกติ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบบวัดการตระหนักรู้ทางอภิปัญญาของ Schraw และ Dennison (1994) มีสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน จึงได้ทำการปรับช่วงข้อมูลในทุกเกณฑ์ย่อยให้เป็น 4 เพื่อให้มีสัดส่วนที่เท่ากันและสะดวกในการแปลผลและเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าระดับอภิปัญญาของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี

รายการ	K	K	K	P	MS	M	S	E	A
จำนวน (N)	34	34	34	134	34	34	34	34	34
ค่าเฉลี่ย	8.366	4.627	7.164	25.396	8.075	4.522	9.306	0.903	88.358
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	.672	.283	.690	3.754	.371	.591	.882	.627	3.510
Skewness	.173	.116	.437	0.162	.167	.557	0.047	0.187	.345
Std. Error of Skewness	.209	.209	.209	0.209	.209	.209	.209	.209	.209
Kurtosis	.222	0.591	.125	0.349	0.408	.198	0.320	.421	0.098
Std. Error of Kurtosis	.416	.416	.416	0.416	.416	.416	.416	.416	.416
Minimum	0.000	.000	1.000	13.000	6.000	6.000	1.000	.000	44.000
Maximum	.000	0.000	5.000	35.000	0.000	5.000	5.000	0.000	60.000

ตารางที่ 4.6 ค่าปรับช่วงข้อมูลของระดับอภิปัญญาของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี

รายการ	DK	PK	CK	P	IMS	CM	DS	E	MA
จำนวน (N)	134	134	134	134	134	134	134	134	134
ค่าเฉลี่ย	2.837	2.925	2.746	2.902	3.046	3.503	3.089	2.787	2.898
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.367	0.457	0.430	0.429	0.430	0.513	0.461	0.484	0.362
Skewness	0.173	0.116	0.437	0.162	0.167	0.557	0.047	0.187	0.345
Std. Error of Skewness	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209
Kurtosis	0.222	-0.591	0.125	0.349	-0.408	0.198	0.320	0.421	-0.098
Std. Error of Kurtosis	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416
Minimum	2.000	1.800	1.760	1.486	2.080	2.286	1.760	1.200	2.215
Maximum	3.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.969

เนื่องจาก Asy'ari et al. (2019) ได้มีการเสนอเกณฑ์คุณภาพของอภิปัญญาที่ปรับช่วงข้อมูลแล้ว โดยแบ่งค่าออกเป็น 4 ระดับ คือ สูงมาก สูง พอใช้ และ น้อย โดยค่าในตาราง 4.7 แสดงการแจกแจงจำนวนนักศึกษาตามระดับอภิปัญญา โดยจะเห็นได้ว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีระดับอภิปัญญาอยู่ในระดับสูงถึงสูงมากในทุกเกณฑ์ย่อย และรวมถึงคะแนนรวมอภิปัญญาด้วย

ตารางที่ 4.7 จำนวนผู้เรียนที่แจกแจงตามเกณฑ์คุณภาพของอภิปัญญา

ด้านอภิปัญญา	จำนวนผู้เรียนตามระดับอภิปัญญา (ร้อยละ)			
	สูงมาก	สูง	พอใช้	น้อย
DK	8 (5.9%)	115 (85.2%)	12 (8.9%)	0 (0%)
PK	30 (22.2%)	97 (71.9%)	8 (5.9%)	0 (0%)
CK	14 (10.4%)	103 (76.3%)	13 (13.3%)	0 (0%)
P	19 (14.1%)	109 (80.7%)	7 (5.2%)	0 (0%)
IMS	36 (26.7%)	94 (69.6%)	5 (3.7%)	0 (0%)
CM	79 (58.5%)	55 (40.7%)	1 (0.7%)	0 (0%)
DS	44 (32.6%)	85 (63.0%)	6 (4.4%)	0 (0%)
E	22 (16.3%)	92 (68.1%)	20 (14.8%)	1 (0.7%)
MA	16 (11.9%)	112 (83.0%)	7 (5.2%)	0 (0%)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับอภิปัญญาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

ในลำดับสุดท้าย เป็นการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับอภิปัญญาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยเมื่อพิจารณาของคะแนนก่อนทำกิจกรรม (ก่อน) และคะแนนหลังทำกิจกรรม (หลัง) มาพิจารณาร่วม จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติ จึงได้ทำการเลือกคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ผลมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้ค่าดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนระหว่างระดับอภิปัญญาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

ตัวแปร	ก่อน	หลัง	<g>	DK	PK	CK	P	IMS	M	DS	E	
ก่อน	—											
หลัง	0.262**	—										
<g>	-0.112	0.894***	—									
DK	0.156	0.213*	0.147	—								
PK	0.169	0.190*	0.147	0.632***	—							
CK	0.179	0.108	0.046	0.768***	0.647***	—						
P	0.085	0.128	0.155	0.772***	0.539***	0.665***	—					
IMS	0.132	0.244**	0.204*	0.728***	0.676***	0.653***	0.650***	—				
M	0.061	0.082	0.081	0.751***	0.611***	0.675***	0.709***	0.679***	—			
DS	0.073	0.183*	0.198*	0.555***	0.552***	0.472***	0.564***	0.707***	0.640***	—		
E	0.086	0.151	0.115	0.728***	0.559***	0.687***	0.703***	0.681***	0.742***	0.523***	—	
MA	0.132	0.191*	0.170	0.884***	0.753***	0.812***	0.841***	0.878***	0.871***	0.749***	0.847***	

หมายเหตุ * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนก่อนและหลังวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR จะพบว่าพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อยู่ในระดับต่ำ ($r = 0.262$, $p < .01$) แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีแนวโน้มทำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการได้ตั้งแต่ก่อนเรียน มีแนวโน้มที่จะทำแบบทดสอบหลังเรียนได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์ของคะแนนทดสอบก่อนเรียนกับค่าใด ๆ ในองค์ประกอบย่อยของอภิปัญญาเลย แสดงให้เห็นว่าอภิปัญญายังไม่มีบทบาทในการทำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการขณะที่ก่อนเรียน

อย่างไรก็ตามแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอภิปัญญาระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (DK) ($r = 0.213$, $p < .05$) ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางาน (PK) ($r = 0.190$, $p < .05$) กลยุทธ์การจัดการข้อมูล (IMS) ($r = 0.224$, $p < .01$) กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (DS) ($r = 0.183$, $p < .05$) และอภิปัญญาโดยรวม ($r = 0.191$, $p < .05$) แสดงให้เห็นว่าอภิปัญญามีส่วนเกี่ยวข้องกับคะแนนสอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการหลังเรียน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความก้าวหน้าทางการเรียน (<g>) กับตัวแปรอื่น พบว่าค่าความก้าวหน้าทางการเรียนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับคะแนนหลังการทดลอง ($r = 0.894$, $p < 0.001$) และพบความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับหน่วยย่อยทางอภิปัญญาในหัวข้อกล

ยุทธ์การจัดการข้อมูล (IMS) ($r = 0.204$, $p < .05$) และ กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (DS) ($r = 0.198$, $p < .05$) ซึ่งทั้งสองตัวแปรเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนหลังเรียนเช่นกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนหน่วยย่อยทางอภิปัญญาและคะแนนรวมทางอภิปัญญามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งหมดในระดับสูง และมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ $p < .001$ แสดงให้ถึงความสอดคล้องซึ่งกันและกันของคะแนนหน่วยย่อยทางอภิปัญญาและคะแนนรวมทางอภิปัญญา และยังหมายถึงความสอดคล้องภายในของผลที่ได้จากแบบทดสอบมีความน่าเชื่อถือสูง

ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรต่างๆ ในบริบทภายใต้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและหน่วยย่อยต่าง ๆ ของอภิปัญญา

มหาวิทยาลัย
สุโขทัยธรรมาธิราช

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สนในการนำการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR (Focus, Action, Reflection) ในหัวข้อเมแทบอลิซึม ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 เพื่อใช้การพัฒนาความสามารถด้านแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของนักศึกษา รวมถึงศึกษาปัจจัยด้านอภิปัญญาที่อาจเกี่ยวข้อง โดยใช้ ที่พัฒนาโดย Schraw & Dennison, (1994) จากผลการทดลองสามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย

1.1 การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR ช่วยให้ภาพรวมความสามารถด้านแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของนักศึกษาดีขึ้น

จากผลคะแนนโดยรวมของนักศึกษามีคะแนนรวมเพิ่มขึ้น จาก 9.097 คะแนน ไปเป็น 13.710 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน และค่าความก้าวหน้าทางการเรียน <g> เป็น 0.165 หรือกล่าวได้ว่า โดยเฉลี่ยนักศึกษาได้คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเพิ่มขึ้นประมาณ 16.5% และเมื่อทดสอบด้วยสถิติอนุมานพบว่าคะแนนหลังเรียนมีค่ามากกว่าคะแนนก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ $W=1712.5$, $z = -6.476$, $p < .001$, Effect size = -0.638 ซึ่งค่าขนาดของผลหรือ Effect size มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ แสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR ช่วยนักศึกษาในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการสนับสนุนว่าวิธีการสอนนี้มีศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ โดยเฉพาะในหัวข้อที่ซับซ้อนทางชีวเคมี เช่น วิถีเมแทบอลิซึม การถ่ายทอดอิเล็กตรอน และกลไกของกระบวนการขนส่งโมเลกุล ผลลัพธ์เหล่านี้สอดคล้องกับการวิจัยที่พบว่าการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเมื่อถูกจัดโครงสร้างภายในกรอบของการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR สามารถสนับสนุนให้นักศึกษาเข้าใจมากขึ้นโดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับแนวคิดใหม่ (Gentner, 1983; Richland & Simms, 2015)

เมื่อทำการพิจารณาคะแนนรายข้อ จะเห็นได้ว่าคะแนนหลังสอบในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนและระบบรับส่งแบบ Shuttle mechanism มีคะแนนที่สูงขึ้น คะแนนหลังการทดสอบที่สูงขึ้นนี้สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐาน

แบบ FAR ในช่วง “Focus” นักศึกษาถูกชี้นำให้ระบุองค์ประกอบหลักของกระบวนการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งอาจช่วยให้พวกเขาพัฒนาแนวคิดที่ปกติเคยสับสนให้มีความชัดเจนมากขึ้น ส่วนในช่วง “Action” ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาหรือสร้างแบบจำลอง นักศึกษาได้มีโอกาสใช้การเปรียบเทียบนี้เสริมสร้างความเข้าใจ โดยเฉพาะในปัญหาที่ต้องการการอธิบายด้วยแบบจำลอง และสุดท้ายในช่วง “Reflection” นักศึกษามีโอกาสสะท้อนความเข้าใจของตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาว่าวัฏจักรการเรียนรู้นี้พบว่าช่วยส่งเสริมการพัฒนาแบบจำลองมโนทัศน์ (Concept map) ซึ่งนำไปสู่การทำคะแนนได้ดีขึ้นในคำถามที่ต้องการความเข้าใจในกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Novak, 2010; Dewey, 1933) อย่างไรก็ตาม การที่คะแนนของคำถามในส่วนนี้ดีขึ้นอาจเป็นเนื่องมาจากลักษณะธรรมชาติของกระบวนการเอง เนื่องจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนและกลไกการขนส่งมีการถ่ายทอดพลังงานและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ (Orgill & Bodner, 2004) ดังนั้น การเปรียบเทียบลำดับการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ซับซ้อนเหล่านี้กับกระบวนการที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งในที่นี่ได้แก่ การขนส่งน้ำที่เรียงต่อกันหรือการส่งผ่านยามที่เฝ้าประตู เป็นการเปรียบเทียบที่ตรงไปตรงมาและค่อนข้างคุ้นเคยกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน นักศึกษาจึงอาจเข้าใจความสัมพันธ์และนำไปเปรียบเทียบกับสิ่งที่เป็นนามธรรมในระดับโมเลกุลได้เข้าใจมากขึ้น

ในทางตรงกันข้าม ในข้อที่ 1 ที่เกี่ยวข้องกับการใช้การควบคุมการทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมแทบอลิซึม พบว่านักศึกษาได้คะแนนที่ต่ำลง ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าเนื้อหาในส่วนนี้อาจไม่ได้รับประโยชน์จากวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR มากนัก เนื่องจากวิถีเมแทบอลิซึมเกี่ยวข้องกับเครือข่ายปฏิกิริยาที่ซับซ้อน ซึ่งหากพยายามลดทอนลงเป็นกระบวนการเชิงเส้นได้อย่างง่ายดายจึงอาจไม่สะท้อนความซับซ้อนของการควบคุมเมตาบอลิซึมที่แท้จริง รวมถึงไม่สามารถครอบคลุมแนวคิดทางจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ และการพลวัตรของวิถีต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกันจนอาจทำให้นักศึกษาสับสนได้ การค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีอยู่ที่อธิบายถึงความยากลำบากที่นักศึกษามักเผชิญเมื่อพยายามสร้างแบบจำลองกระบวนการที่เชื่อมโยงกันและไม่เป็นเส้นตรง (Wright & McHale, 2018)

จากเหตุการณ์ที่เกินขึ้นนี้อาจอนุมานได้ว่า วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้การเปรียบเทียบกระบวนการที่เป็นเส้นตรง หรือการเปรียบเทียบแบบตรงไปตรงมา แต่ก็อาจต้องปรับเปลี่ยนเพื่อรองรับลักษณะของวิถีเมอทบอลึซึมที่เป็นเครือข่าย แตกกิ่ง หรือเป็นวัฏจักร ในช่วง "Action" นักศึกษาอาจประสบปัญหาในการทำความเข้าใจแบบจำลองกระบวนการที่ถูกต้องเนื่องจากมีตัวแปรและปัจจัยจำนวนมากที่เข้ามาเกี่ยวข้อง และการ "Reflection" ของนักศึกษาอาจมีประสิทธิภาพน้อยลงหากไม่สามารถเชื่อมโยงตัวเปรียบเทียบให้เข้ากับบริบทการเผาผลาญวิถีเมอทบอลึซึมได้ นอกจากนี้ ยังมีข้อสังเกตหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ นักศึกษา

สามารถทำแบบทดสอบก่อนทำกิจกรรมในหัวข้อนี้ได้ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับข้ออื่น ๆ ซึ่ง ณ ขณะที่นักศึกษาทำแบบทดสอบนี้ นักศึกษาเพิ่งผ่านการเรียนในหัวข้อดังกล่าวโดยวิธีบรรยายได้ไม่นาน จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อทำการสอนด้วยการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR แล้วนักศึกษาอาจเกิดความสับสนและทำให้ทำแบบทดสอบหลังทำกิจกรรมได้ลดลง ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าแม้ว่าการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR จะมีประสิทธิภาพ แต่การใช้ในบางหัวข้ออาจก่อให้เกิดความเข้าใจที่สับสนและคลาดเคลื่อนมากกว่าเดิม จึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการในไปใช้ในการเรียนการสอนในเนื้อหาอื่น ๆ ด้วย

1.2 การเพิ่มขึ้นของคะแนนแบบจำลองแนวคิดกระบวนการสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับอภิปัญญา

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าระดับของการตระหนักรู้ทางอภิปัญญากับคะแนนหลังทำกิจกรรมมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่พบในคะแนนก่อนทำกิจกรรม แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทางอภิปัญญาสอดคล้องเมื่อนักศึกษามีพัฒนาการด้านความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในด้านความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (Declarative Knowledge) ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (Procedural Knowledge) กลยุทธ์การจัดการข้อมูลและกลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging Strategies) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของอภิปัญญาในการเรียนรู้เนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน (Flavell, 1979; Schraw & Dennison, 1994) นักศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงการตระหนักรู้ทางอภิปัญญาที่สูงขึ้น มีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จมากขึ้นในการใช้ความรู้ของตนอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR ไม่เพียงช่วยสนับสนุนการเข้าใจเนื้อหาทางชีวเคมี แต่ยังส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาผ่านการส่งเสริมกลยุทธ์การคิดเชิงอภิปัญญา

ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จำเป็นต้องมี (Declarative Knowledge) หมายถึงการตระหนักรู้ถึงข้อมูลข้อเท็จจริงและโครงสร้างของความรู้ อาจช่วยให้นักศึกษาจัดระเบียบแนวคิดทางชีวเคมีออกมาใช้ระหว่างการทดสอบ การมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (Procedural Knowledge) ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจขั้นตอนที่จำเป็นในการเปรียบเทียบหรือกระบวนการทำงานทางชีวเคมี ในขณะที่กลยุทธ์การจัดการข้อมูลช่วยให้นักศึกษาจัดลำดับความสำคัญและจัดระเบียบความพยายามในการเรียนรู้ของตนเอง กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging Strategies) เกี่ยวข้องกับการรู้จักและแก้ไขข้อผิดพลาดในความคิดของตนเอง มีความสำคัญอย่างยิ่งในช่วง "Reflection" ของวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR ซึ่งนักศึกษาต้องเปรียบเทียบแบบจำลองกระบวนการของตนกับแบบจำลองทางชีวเคมีที่ถูกต้องและปรับเปลี่ยนความคิดของตนเองตามความเหมาะสม

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบเหล่านี้ของอภิปัญญากับคะแนนที่ดีขึ้นชี้ให้เห็นว่าการส่งเสริมกลยุทธ์เชิงอภิปัญญาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียนรู้แบบอุปมานิทัศน์ในวิชาชีวเคมีได้ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่เน้นบทบาทของการสอนเชิงอภิปัญญาในการศึกษาวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักศึกษามักต้องจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนและมีส่วนร่วมในกระบวนการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง (Pintrich, 2002)

โดยสรุป วิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบที่ใช้หลักการวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการปรับปรุงความเข้าใจเชิงแนวคิดและความสามารถในการสร้างแบบจำลองกระบวนการของนักศึกษาในวิชาชีวเคมี แม้ว่าวิธีนี้อาจมีข้อบกพร่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสอนเกี่ยวกับวิถีเมแทบอลิซึมที่มีความซับซ้อนมากกว่าตัวเปรียบเทียบ แต่การเพิ่มขึ้นของคะแนนโดยรวมและความสัมพันธ์เชิงบวกกับการตระหนักรู้ทางอภิปัญญาชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกระบวนการในงานนี้ ซึ่งอาจนำไปปรับใช้ในรายวิชาอื่นทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องการการคิดที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ดีมากขึ้น

2. อภิปรายผล

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR (Focus-Action-Reflection) ในการพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ (Concept-Process Models) และเพิ่มความเข้าใจเชิงแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางชีวเคมี หัวข้อเมแทบอลิซึม ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์(constructivist learning theory) ซึ่งชี้ว่านักเรียนสร้างความรู้ใหม่ผ่านการมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นและการเชื่อมโยงกับประสบการณ์เดิม (Piaget, 1972; Harrison & Treagust, 2000a) โดยการเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมที่คุ้นเคยผ่านตัวเปรียบเทียบ (Analog) ไปยังกระบวนการที่ต้องการ (Target) อย่างมีประสิทธิภาพ

องค์ประกอบสำคัญของความสำเร็จของวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR อยู่ที่การใช้ตัวเปรียบเทียบเพื่อส่งเสริมความเข้าใจ การใช้ตัวเปรียบเทียบช่วยเป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ทางปัญญา (cognitive scaffolds) ที่เชื่อมโยงประสบการณ์ในชีวิตประจำวันของนักเรียนเข้ากับปรากฏการณ์ทางชีวเคมีที่เป็นนามธรรม (Fretz et al., 2002; Brown & Salter, 2010) ตัวอย่างเช่น การใช้อุปมาสายพานลำเลียง (conveyor belt) เพื่ออธิบายการยับยั้งเอนไซม์ ช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าการอุดตันในองค์ประกอบหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาในระบบที่อยู่ทั้งต้นน้ำและปลายน้ำได้อย่างไร หรือ การใช้ตัวเปรียบเทียบแบบส่งต่อถังน้ำ (bucket brigade) สำหรับสายโซ่การ

ถ่ายทอดอิเล็กตรอน ช่วยให้นักเรียนเข้าใจการถ่ายโอนพลังงานทีละขั้นตอนและผลกระทบต่อการผลิตพลังงาน

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการใช้ตัวเปรียบเทียบขึ้นอยู่กับความสอดคล้องของการเชื่อมโยงระหว่างตัวเปรียบเทียบกับแนวคิดเป้าหมาย หากตัวเปรียบเทียบไม่มีความชัดเจนหรือมีการลดทอนความซับซ้อนจนเกินไป อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ ผู้สอนควรชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของตัวเปรียบเทียบเหล่านี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำแก่นักเรียนในการประเมินความเหมาะสมของตัวเปรียบเทียบเหล่านี้อย่างมีวิจารณญาณ (Orgill & Bodner, 2006)

แบบจำลองแนวคิดกระบวนการมีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการแสดงให้เห็นถึงธรรมชาติที่มีพลวัตและความเชื่อมโยงกันของระบบชีวเคมี ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองโดยทั่วไป โดยแบบจำลองแนวคิดกระบวนการมีการรวมการแสดงผลขององค์ประกอบย่อยของแต่ละส่วนเข้ากับบทบาทหน้าที่และปฏิสัมพันธ์ในระบบ (Orgill & Bodner, 2006) การสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการต้องอาศัยความสามารถในการสังเคราะห์ข้อมูล การระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการแสดงผลที่มีการเปลี่ยนแปลงในระบบอย่างถูกต้อง ความต้องการทางความคิดเหล่านี้สอดคล้องกับการพัฒนาความเข้าใจเชิงแนวคิด ที่นักเรียนสามารถเปลี่ยนผ่านจากการจดจำข้อเท็จจริงแบบแยกส่วนไปสู่การรวมองค์ความรู้และนำไปใช้ในกรอบความคิดที่ซับซ้อน (Driver et al., 1994) ตัวอย่างเช่น ในการเรียนรู้วัฏจักรกรดซิตริก นักเรียนที่ใช้แบบจำลองแนวคิดกระบวนการสามารถมองเห็นได้ว่าตัวกลางในวัฏจักรถูกดึงออก ทดแทน นำกลับมาใช้ซ้ำ และควบคุมอย่างไร ความเข้าใจแบบองค์รวมนี้ช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงปฏิกิริยาแยกส่วนเข้ากับบริบทที่กว้างขึ้นของเมแทบอลิซึมในระดับเซลล์

กลยุทธ์การกำกับตนเองทางปัญญา (metacognitive strategies) มีบทบาทสำคัญในวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR โดยช่วยให้นักเรียนสามารถสะท้อนความเข้าใจของตนเอง ระบุช่องว่าง และปรับปรุงแบบจำลองได้อย่างต่อเนื่อง การกำกับตนเองทางปัญญาหมายถึงการตระหนักรู้และควบคุมกระบวนการคิดของตนเอง ซึ่งรวมถึงการวางแผน การติดตามผล และการประเมินผลการเรียนรู้ (Flavell, 1979; Chiu & Lin, 2019) ในกรอบการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR การปฏิบัติทางอภิปัญญาเหล่านี้ถูกฝังอยู่ในแต่ละขั้นตอน ในระยะ Focus นักเรียนจะระบุส่วนสำคัญของระบบชีวเคมีและเชื่อมโยงกับอุปมาเพื่อส่งเสริมความตระหนักในสิ่งที่พวกเขาเข้าใจและสิ่งที่ต้องการการสำรวจเพิ่มเติม ในระยะ Action นักเรียนจะใช้ความรู้นี้ในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการโดยทดสอบอุปมากับหลักการทางชีวเคมี ในระยะ Reflection นักเรียนจะประเมินแบบจำลอง เปรียบเทียบกับระบบจริง และปรับปรุงความเข้าใจผ่านกระบวนการทบทวนและปรับปรุงแบบต่อเนื่อง (Schwarz et al., 2009)

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการผลวิจัยไปใช้

แม้ว่าวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR จะมีประสิทธิภาพในการรวมความเข้าใจเชิงแนวคิด การพัฒนาแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ และทักษะทางอภิปัญญา แต่ยังมีข้อจำกัดที่ต้องจัดการ การใช้ตัวเปรียบเทียบ แม้จะเป็นประโยชน์ แต่บางครั้งอาจลดทอนความซับซ้อนของปรากฏการณ์ชีวเคมีเกินไปจนเกิดความเข้าใจผิด ผู้สอนควรชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของตัวเปรียบเทียบเหล่านี้และให้แนวทางแก่นักเรียนในการประเมินความเกี่ยวข้องและความเหมาะสมของตัวเปรียบเทียบเหล่านี้ต่อระบบจริงนอกจากนี้ ผู้สอนควรออกแบบกิจกรรมแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ ที่รวมการแสดงผลแบบก่อนและหลัง เพื่อช่วยให้นักเรียนมองเห็นการเปลี่ยนแปลงแบบที่เป็นพลวัตภายในระบบ

ในการนำวิธีการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR อาจมีความจำเป็นต้องผนวกการสอนเชิงกลยุทธ์เชิงอภิปัญญาอย่างชัดเจน เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษามีความคิดเกี่ยวกับการควบคุมตนเอง วางแผนกลยุทธ์การเรียนรู้ และประเมินความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ สามารถช่วยให้นักศึกษาสามารถนำทางผ่านความซับซ้อนของวิชาชีวเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การรวมคำถามเชิงอภิปัญญาในแต่ละช่วงของการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR อาจช่วยเพิ่มผลลัพธ์การเรียนรู้และให้นักศึกษามีทักษะที่จำเป็นสำหรับความสำเร็จในเนื้อหาที่ซับซ้อนอื่น ๆ

3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

การวิจัยในอนาคตควรสำรวจการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง FAR เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ของกระบวนการทางชีวเคมีที่เป็นเครือข่ายให้ดียิ่งขึ้น และอาจศึกษาต่อไปเกี่ยวกับบทบาทของอภิปัญญาในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในแขนงอื่น ๆ เนื่องจากผลจากการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า ผู้เรียนที่มีความรู้ วางแผนกลยุทธ์ และประเมินตนเองได้ดี มีแนวโน้มที่จะทำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการได้ดีกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีคะแนนดีหรือมีคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างมาก จะมีการปรับใช้อภิปัญญาที่โดดเด่นกว่าผู้เรียนคนอื่น ๆ ดังนั้น การวิจัยที่เน้นผลเชิงคุณภาพในนักเรียนกลุ่มนี้อาจให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ว่าความสัมพันธ์และการใช้ประโยชน์จากอภิปัญญาที่ได้ผลสำเร็จมีลักษณะเป็นอย่างไร

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

อนุพงศ์ ไพรศรี, ชาตรี ฝ่ายคำตา, เอกรัตน์ ทานาค, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, & เอกภูมิ จันทรขันตี. (2022). การสร้างและใช้แบบจำลองในห้องเรียนวิทยาศาสตร์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 24*(1), 349–358.

Aktamıs, H. (2012). Use of the FAR Guide in alternative teaching models developed on structuring the topic of energy. *Gaziantep University Journal of Social Sciences, 11*(1), 1-24.

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives.* Allyn & Bacon.

Armbruster, P., Patel, M., & Johnson, E. (2009). Active learning and student-centered pedagogy improve student attitudes and performance in introductory biology. *CBE—Life Sciences Education, 8*(3), 203-213.

Asy'ari, M., Ikhsan, M., & Muhali, M. (2019). The effectiveness of inquiry learning model in improving prospective teachers' metacognition knowledge and metacognition awareness. *International Journal of Instruction, 12*(2), 455-470.

Barrow, J., Hurst, W. S. K., Edman, J., Ariesen, N., & Krampe, C. (2024). *Virtual reality for biochemistry education: The cellular factory*. *Education and Information Technologies, 29*(2), 1647–1672.

Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, A. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(5), 518-560.

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5*(1), 7-74.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school.* Washington DC: National Academy Press.

Brown, S., & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Physiology Education, 34*(4), 167-169.

Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Springer.

Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 1*(1), 1–11.

Cook, D. A. (2014). The value of online learning and simulation technologies in medical education. *Journal of the American Medical Association, 312*(22), 2364-2375.

Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the future of science learning. *Journal of Science Education and Technology, 20*(3), 283–294.

Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process.* Boston: Heath.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher, 23*(7), 5–12.

Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M., & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies—Between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction, 11*(4-5), 283–303.

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist, 34*(10), 906-911.

Floros, J. D., Newsome, R., Fisher, W., Barbosa-Cánovas, G. V., Chen, H., Dunne, C. P., German, J. B., Hall, R. L., Heldman, D. R., Karwe, M. V., Knabel, S. J., Labuza, T. P., Lund, D. B., Newell-McGloughlin, M., Robinson, J. L., Sebranek, J. G., Shewfelt, R. L., Tracy, W. F., Weaver, C. M., & Ziegler, G. R. (2010). Feeding the world today and tomorrow: The importance of food science and technology. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9*(5), 572–599.

Fretz, E. B., Wu, H.-K., Zhang, B., Davis, E. A., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2002). An investigation of software scaffolds supporting modeling practices. *Research in Science Education, 31*(4), 567–589.

García-Ponce, Á. L., & Martínez-Poveda, B. (2019). A problem-/case-based learning approach as a useful tool for studying metabolism and its regulation. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 47*(3), 288–295.

Georghiades, P. (2004). From the general to the situated: Three decades of metacognition. *International Journal of Science Education, 26*(3), 365–383.

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science, 7*(2), 155-170.

Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 3-24). Springer.

Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219–240). Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, S. M. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 247–273). Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, S. M. (1996). *Teaching science effectively with analogies: An action research project.* University of Georgia.

Glynn, S. M. (2008). Making science concepts meaningful to students: Teaching with analogies. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, & M. Brückmann (Eds.), *Four Decades of Research in Science Education: From Curriculum Development to Quality Improvement* (pp. 113–125).

Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education, 22*(9), 891–894.

Grove, N. P., & Bretz, S. L. (2012). A continuum of learning: From rote memorization to meaningful learning

Grünkorn, J., Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education, 36*, 1651-1684.

Günter, T. (2020). Effectiveness of a Problem-Based Learning (PBL) Scenario for Enhancing Academic Achievement of Energy Metabolism. *Research in Science Education, 50*(5), 1713–1737.

Harmon, P. (2018). Integrating science disciplines: Teaching strategies for interdisciplinary learning. *Journal of Science Education, 45*(1), 45-67.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1998). Modelling in science lessons: Are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics.*

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher, 30*(3), 141-158.

Heywood, D. (2010). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education, 32*(2), 233-247.

Hidayat, R., Syed Zamri, S. N. A., Zulnaidi, H., Abdullah, M. F. N. L., & Adnan, M. (2021). The interrelationships between metacognition and modeling competency: The moderating role of the academic year. *European Journal of Educational Research, 10*(3), 1853-1866.

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist, 42*(2), 99-107.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought.* MIT Press.

Jansen, S., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2021). Lesson study as a research approach: A case study. *International Journal for Lesson and Learning Studies, 10*(3), 286–301.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(2), 75-83.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369–387.

Kirkwood, A., & Price, L. (2014). Technology-enhanced learning and teaching in higher education: What is 'enhanced' and how do we know? A critical review. *Learning, Media and Technology, 39*(1), 6-36.

Kritikos, G., & Dimitracopoulou, A. (2014). The impact of the analogical reflection on the metacognitive awareness. *The International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning, 20.*

Lang, F. K., & Bodner, G. M. (2020). A review of biochemistry education research. *Journal of Chemical Education, 97*(8), 2091–2103.

Lena, A. E. T., & Carl-Johan, R. (2010). Educational challenges of molecular life science: Characteristics and implications for education and research. *CBE—Life Sciences Education, 9*(1), 25–33.

Livingstone, J. L. (1997). *Metacognition: An overview.* Northern Illinois University.

Loertscher, J., Minderhout, V., & Lewis, J. E. (2014). The impact of a workshop model course design on learning outcomes in a large introductory biology course. *CBE—Life Sciences Education, 13*(3), 411-424.

Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material, and epistemological contributions. *Educational Review, 64*(4), 471–492.

Mason, L. (1994). Cognitive and metacognitive aspects in conceptual change by analogy. *Instructional Science, 22*(3), 157–187.

Morales, J., Nelson, D., Torres, L., & del Valle, J. (2017). Cognitive overload in biochemistry: The case of metabolic pathways. *Biochemistry Education Journal, 44*(2), 78-85.

Nation, I. S. P. (2001). *Learning Vocabulary in Another Language*. Cambridge University Press.

Nichols, A., Burghardt, K., & Hummel, P. (2018). Visualization techniques for understanding metabolic pathways. *Journal of Educational Technology Systems, 47*(2), 211-225.

Nicol, D. J., & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. *Studies in Higher Education, 31*(2), 199-218.

Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations.* Routledge.

Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn.* Cambridge University Press.

O'Loughlin, V. D., & Griffith, L. M. (2020). Developing student metacognition through reflective writing in an upper-level undergraduate anatomy course. *Anatomical Sciences Education, 13*(6), 680-693.

Orgill, M. K., & Bodner, G. M. (2004). What research tells us about using analogies to teach chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 5*(1), 15-32.

Orgill, M., & Bodner, G. M. (2006). An analysis of the effectiveness of analogy use in college-level biochemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching, 43*(11), 1040–1060.

Pan, M., Gawthrop, P. J., Cursons, J., & Crampin, E. J. (2021). Modular modeling frameworks for integrating biochemical pathways. *PLoS Computational Biology, 17*(11), e1009513.

Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: Using Stagecast Creator™ to foster fifth graders' development of modeling skills. *Journal of Computer Assisted Learning, 23*(2), 145–157.

Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescence to adulthood. *Human Development, 15*(1), 1–12.

Pintrich, P. R. (2002). The role of metacognitive knowledge in learning, teaching, and assessing. *Theory into Practice, 41*(4), 219-225.

Rhodes, M. G. (2019). Metacognition. *Teaching of Psychology, 46*(2), 168–175.

Ribeiro, P. F., Oliveira, P., & Huet, H. (2019). Understanding metabolism: Challenges in biochemistry education. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 47*(4), 469-476.

Richland, L. E., & Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 6*(2), 177-192.

Richland, L. E., Zur, O., & Holyoak, K. J. (2007). Cognitive supports for analogies in the mathematics classroom. *Science, 316*(5828), 1128–1129.

Roth, W. M., & Bowen, G. M. (2018). The decline of student motivation in science education: A case study in secondary school science. *Science Education International, 29*(2), 135-144.

Salomon, G., & Globerson, T. (1987). Skill may not be enough: The role of mindfulness in learning and transfer. *International Journal of Educational Research, 11*(6), 623–637.

Sarıtaş, D., Özcan, H., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Observation and inference in chemistry teaching: A model-based approach to the integration of the macro and submicro levels. *Science & Education, 30*(5), 1289–1314.

Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2009). A model of factors determining students' ability to interpret external representations in biochemistry. *International Journal of Science Education, 31*(2), 193–232.

Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology, 19*(4), 460-475.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching, 46*(6), 632–654.

Seiler, K. P., & Huggins, J. (2018). From cheese curls to fatty acid structure: Using "commonplace" analogies to teach science to nonmajors. *Advances in Physiology Education*, 42(3), 393–395.

Spicer, J. O., Thompson, K. H., Tong, M. S., Cowan, T. M., Fulton, T. B., & Lindsley, J. E. (2018). Medical biochemistry without rote memorization: Multi-institution implementation and student perceptions of a nationally standardized metabolic map for learning and assessment. *Medical Science Educator, 28*(4), 799–806.

Taber, K. S. (2017). Models and modelling in science and science education. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 263–278).

Thompson, D. S. (2021). A model for biochemical pathways: Understanding energy transfer and storage. *Biochemistry Education, 49*(3), 451–462.

Tibell, L. A. E., & Rundgren, C. J. (2010). Educational challenges of molecular life science: Characteristics and implications for education and research. *CBE—Life Sciences Education, 9*(1), 25–33.

Treagust, D. (1993). The evolution of an approach for using analogies in teaching and learning science. *Research in Science Education, 23*, 293–301.

Treagust, D. F. (2015). The importance of frameworks for conceptual understanding in science education. *Science Education, 99*(2), 282–286.

Treagust, D. F., Duit, R., & Fischer, H. E. (2016). Multiple representations in physics education. In H. E. Fischer (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1087-1111). Springer.

Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. (1998). Teaching science effectively with analogies: An approach for pre-service and in-service teacher education. *Journal of Science Teacher Education, 9*, 85-101.

Walsh, R. M. (2017). Simulation-based learning in the biological sciences: Enhancing student outcomes. *Journal of Biological Education, 51*(3), 241-250.

White, R. T., & Gunstone, R. F. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education, 11*(Special Issue), 577–586.

Wright, R., Orr, L., & McHale, P. (2018). Student conceptions of biochemical pathways: An investigation of breadth and depth of understanding. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 46*(1), 40-46.

Zeitoun, H. H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science & Technological Education, 2*(2), 107–125.

Zohar, A., & David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition and Learning, 3*, 59–82.

ภาคผนวก

This is Mendeley biography

ภาคผนวก ก

แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม

แผนการจัดการเรียนรู้

งานวิจัย : การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและอภิปัญญาโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ

แผนกิจกรรม 1 Basic Concepts of Metabolic pathways

หัวข้อ Basic Concepts of Cellular Metabolism and Bioenergetics

ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของระดับหน่วย (Unit Learning Outcome, ULO)

1. อธิบายลักษณะ รูปแบบ และหลักการทำงานของปฏิกิริยาในวิถีเมแทบอลิซึมในเซลล์ทั่วไปได้
2. ระบุหลักการทำงานของเอนไซม์ โคเอนไซม์ โคแฟกเตอร์ และตัวยับยั้งในวิถีเมแทบอลิซึมได้

กิจกรรมการเรียนรู้

หาจุดสนใจ (Focus)

1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน

1.1 ผู้สอนพิจารณาว่าลักษณะของ metabolic pathways มีความคล้ายคลึงกับสิ่งใดในชีวิตประจำวันของผู้เรียนที่มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้ เช่น แผนผังการเดินรถไฟฟ้า แผนสายพานการผลิต เป็นต้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจใช้แผนสายพานการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นตัวอุปมาน

2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน

2.1 ผู้สอนดึงความสนใจของผู้เรียน โดยใช้ชมคลิปวิดีโอ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวกล่องโดยเครื่องจักรและสายพาน (QR code) (https://www.youtube.com/watch?v=aFn2MM0rmOc&t=454s)

2.2 ผู้สอนสอบถามผู้เรียนว่ากระบวนการหุงข้าวที่เห็นมีขั้นตอนอะไรบ้าง และต้องใช้เครื่องมือกี่เครื่อง อะไรบ้าง รวมถึงหม้อที่ใช้มีการหมุนเวียนอย่างไร

ลงมือปฏิบัติ (Action)

3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย

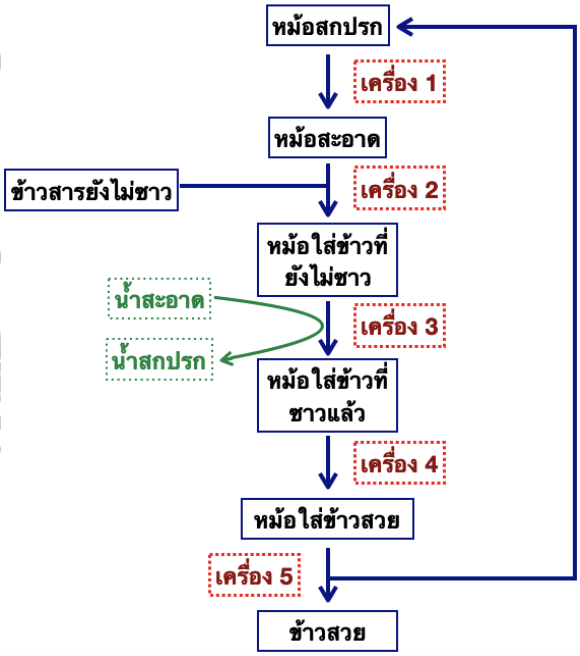
3.1 ผู้เรียนระบุองค์ประกอบของกระบวนการหุงข้าวโดยเครื่องจักรและสายพานผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันพิจารณาเปรียบเทียบตัวอุปมาน (Analogy) กับเป้าหมาย (Target) ที่ รวมถึงแนวคิดที่ต้องการให้ผู้เรียนได้รับ

ตัวอุปมานในแบบจำลอง	เป้าหมาย	แนวคิดทางชีวเคมี
ขั้นตอนการเรียงสายพาน	วิถี (Pathway)	- วิถีคือลูกโซ่ของปฏิกิริยาเคมีที่เรียงตามลำดับเฉพาะเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ
วัตถุดิบเริ่มต้น เช่น ข้าว เนื้อ	สารตั้งต้นในวิถี (Pathway substrate)	- สารตั้งต้นอาจมีได้หลายชนิดมาประกอบกัน
ผลิตภัณฑ์สุดท้าย	ผลิตภัณฑ์ในวิถี (Pathway product)	- ผลิตภัณฑ์มักเป็นสารสุดท้ายที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ อาจเกิดได้มากกว่า 1 ชนิด
สิ่งที่อยู่ระหว่างทาง	สารมัธยันต์ (Intermediate)	- สารมัธยันต์คือสารตัวกลางที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์
เครื่องจักร	เอนไซม์ (Enzyme)	- เอนไซม์ใช้เร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนสาร หากขาดเอนไซม์ปฏิกิริยาจะไม่เกิดขึ้น - เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงกับสารที่ใช้เร่งปฏิกิริยา - หากหยุดการทำงานของเอนไซม์ ปฏิกิริยาที่เหลือทั้งหมดจะหยุดการทำงาน และสารมัธยันต์ในขั้นก่อนหน้าจะเหลือล้น
สิ่งที่ใส่ในเครื่องจักร	สารตั้งต้น (Substrate)	- สารตั้งต้นคือสารที่เข้าจับแบบจำเพาะกับเอนไซม์
สิ่งที่ออกมาจากเครื่องจักร	ผลิตภัณฑ์ (Product)	- สารที่ได้จากเอนไซม์คือผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจกลายเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ตัวถัดไป
สิ่งที่เข้าไปร่วมในสารตั้งต้นและแต่ไม่รวมในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดข้าว	โคซับสเตรต (Cosubstrate)	- โคซับสเตรต คือสารที่จำเป็นต้องเกิดร่วมกับสารตั้งต้น แต่หลักจากเกิดปฏิกิริยาจะไม่เป็นส่วนหนึ่งหรือส่วนหลักของผลิตภัฑณ์

ตัวอุปมานในแบบจำลอง	เป้าหมาย	แนวคิดทางชีวเคมี
สิ่งที่เข้าไปร่วมในเครื่องจักรแต่ไม่รวมในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำมันเครื่อง	โคเอนไซม์ หรือ โคแฟกเตอร์ (Coenzyme/ Cofactor)	- โคเอนไซม์ หรือ โคแฟกเตอร์ เป็นสารที่จำเป็นที่ทำให้เอนไซม์ทำงานเป็นปกติ
สิ่งที่ใช้ในการปิดเครื่องจักร	ตัวยับยั้ง (Inhibitor)	- ตัวยับยั้ง ทำหน้าที่ในการหยุดปฏิกิริยาโดยการเข้าจับกับเอนไซม์ ตัวยับยั้งเอนไซม์มีหลายประเภทและมีกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน

4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน

4.1 ผู้เรียนจับกลุ่มกันและพยายามร่วมกันสร้างแบบจำลองกระบวนการ เพื่อแสดงกระบวนการหุงข้าวสวยจากเครื่องจักร ตัวอย่างแบบจำลองที่เป็นไปได้ แสดงในรูปด้านล่าง



สะท้อนคิด (Reflection)

5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง

5.1 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อประเมินว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเกิดปัญหาหรือมีข้อบกพร่องอะไรบ้าง โดยทำการตรวจสอบด้วยข้อคำถาม เช่น

1) จะเกิดอะไรขึ้นหากขาดน้ำที่ใช้ซาวข้าว และน้ำที่ซาวเสร็จแล้วเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์หรือไม่

2) หม้อที่หุงข้าวเสร็จแล้วไปไหน เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์หรือไม่

5.2 ผู้สอนถามคำถามเพื่อขยายขอบเขตการทำงานของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เช่น

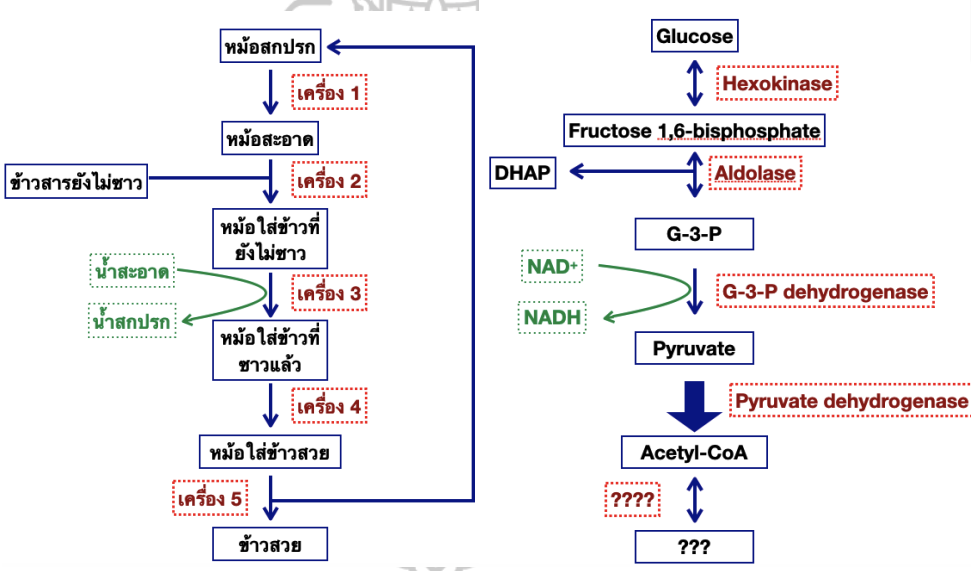
1) ถ้าเลือกปิดเครื่องได้เพียงเครื่องเดียว จะปิดเครื่องไหน เพราะอะไร

2) มีขั้นตอนใดบ้างที่หากปล่อยผ่านไปแล้ว จะไม่สามารถหวนคืนได้อีก

ในกระบวนการนี้ผู้เรียนจะได้เชื่อมโยงถึงแนวคิดทางชีวเคมีถึงปฏิกิริยาที่ผันกลับได้และผันกลับไม่ได้ รวมถึงแนวทางการควบคุมวิถีในเมแทบอลิซึม

5.3 ผู้สอนเปรียบเทียบแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ได้จากการเปรียบเทียบ (รูปด้านล่างซ้าย) เข้ากับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่เป้าหมาย (รูปด้านล่างขวา) อภิปรายจุดเหมือนและจุดที่แตกต่าง รวมถึงชี้ให้เห็นข้อเด่นข้อด้อยของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

5.4 ผู้เรียนร่วมกันดัดแปลงแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายหรือเชื่อมโยงหรือสอดคล้องกับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป้าหมายให้มากที่สุด



6. ขั้นขยายแบบจำลอง

6.1 ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ใหม่ที่ใกล้เคียงกัน เช่น เปลี่ยนจากวิถีไกลโคไลซิส เป็นวิถีอื่นๆ ที่มีการเชื่อมโยงกัน เช่น วิถีกลูโคนีโอเจเนซิส วิถีเพนโทส ฟอสเฟต วิถีการสังเคราะห์และสลายไกลโคเจน เป็นต้น

<u>แผนกิจกรรม 2</u> Electron carriers

หัวข้อ Oxidative Phosphorylation

ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของระดับหน่วย (Unit Learning Outcome, ULO)

1. อธิบายคุณลักษณะ องค์ประกอบ และหน้าที่ของ Electron carriers ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้
2. อธิบายกระบวนการทำงานของ Electron carriers ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีปัจจัยอื่นรบกวนได้

กิจกรรมการเรียนรู้

หาจุดสนใจ (Focus)

1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน

ผู้สอนพิจารณาว่าลักษณะของ Electron carrier มีลักษณะคล้ายคลึงกับสิ่งใดในชีวิตประจำวันของผู้เรียนที่มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้ เช่น การยืนส่งของเป็นทอด ๆ เป็นต้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจใช้การยืนเรียงเพื่อขนส่งน้ำมาใช้เป็นตัวอุปมาน

2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน

2.1 ผู้สอนดึงความสนใจของผู้เรียน โดยให้ชมภาพการที่ผู้ชนช่วยกันลำเลียงสิ่งของออกมา

2.2 ผู้สอนสอบถามผู้เรียนว่าการช่วงกันเรียงเป็นแถวนี้มีข้อดีอย่างไร และอะไรเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของสิ่งของ

ลงมือปฏิบัติ (Action)

3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย

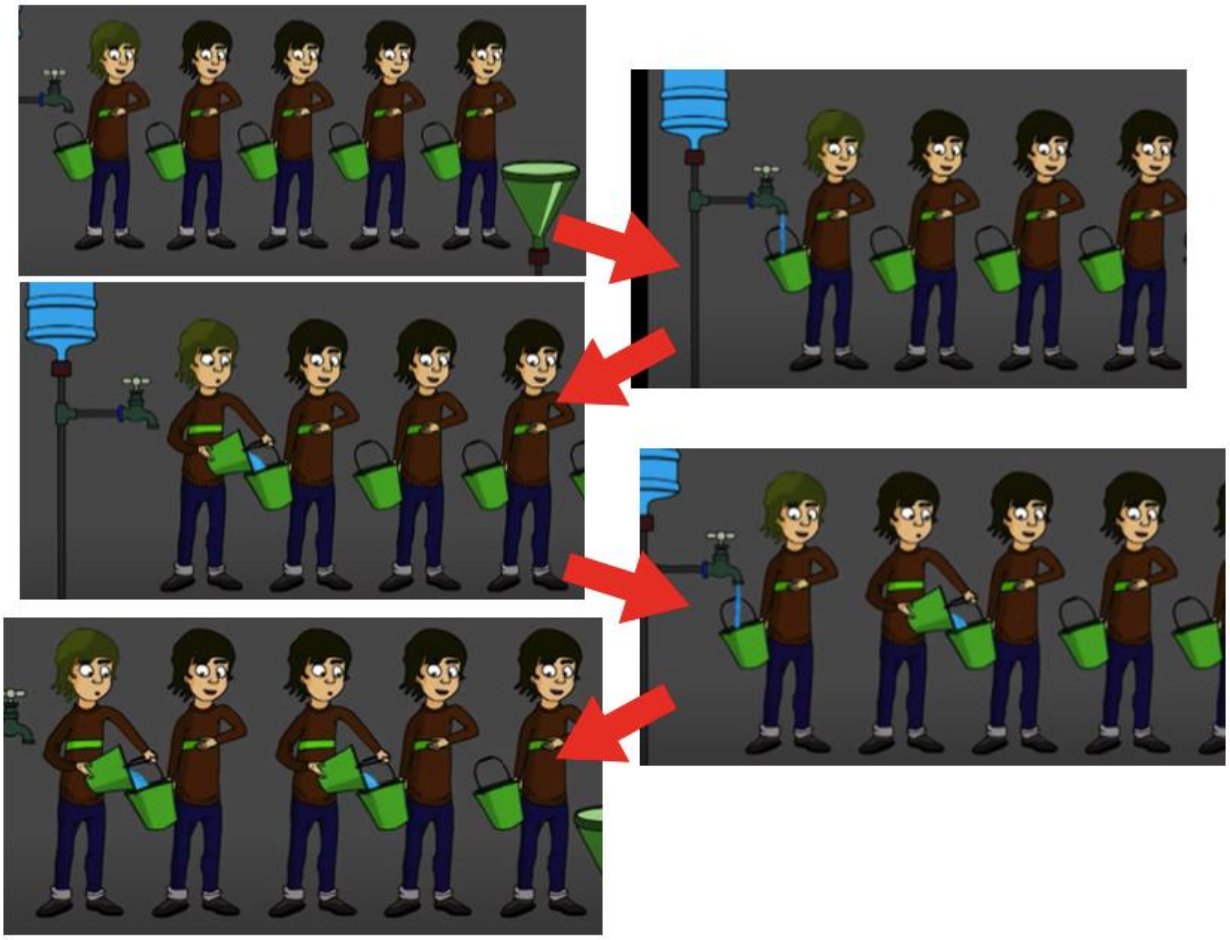
3.1 ผู้เรียนระบุองค์ประกอบของกระบวนการลำเลียงน้ำโดยการยืนเรียงต่อแถว

3.2 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันพิจารณาเปรียบเทียบตัวอุปมาน (Analogy) กับเป้าหมาย (Target) ที่ รวมถึงแนวคิดที่ต้องการให้ผู้เรียนได้รับ

ตัวอุปมานในแบบจำลอง	**เป้าหมาย**	**แนวคิดทางชีวเคมี**
คนที่ยืนเรียงกัน	ตัวขนส่งอิเล็กตรอน (electron carrier)	- ตัวขนส่งอิเล็กตรอนทำหน้าที่ในการรับส่งอิเล็กตรอนจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง เป็นไปลูกโซ่
กระป๋องน้ำ	Redox center	- Redox center คือสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ใช้ในการรับส่งอิเล็กตรอน ตัวขนส่งอิเล็กตรอน 1 ตัวต้องมี Redox center อย่างน้อย 1 ประเภท
น้ำ	อิเล็กตรอน (Electron)	- เป็นตัวที่ถูกขนส่งในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
ทิศทางการเคลื่อนที่จากบนลงล่าง	Standard reduction potential ($E^{0'}$)	- ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามค่า Standard reduction potential ($E^{0'}$) จากน้อยไปหามาก
กระป๋องเปล่า	Oxidized state	- Redox center ที่ไม่มีการรับอิเล็กตรอน จะมีพลังงานศักย์ต่ำกว่า
กระป๋องที่มีน้ำ	Reduced state	- Redox center ที่รับอิเล็กตรอนมาแล้ว จะมีพลังงานศักย์สูงกว่า
การเทน้ำออกจากกระป๋อง	ปฏิกิริยา Oxidation	- ปฏิกิริยาการสูญเสียอิเล็กตรอน
การได้รับน้ำเข้ามาในกระป๋อง	ปฏิกิริยา Reduction	- ปฏิกิริยาการได้รับอิเล็กตรอน
สิ่งขัดขวางในการส่งน้ำ	ตัวยับยั้ง (Inhibitor)	- ตัวยับยั้ง ทำหน้าที่ในการหยุดปฏิกิริยาโดยการเข้าจับกับเอนไซม์ ตัวยับยั้งเอนไซม์มีหลายประเภทและมีกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน

4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน

4.1 ผู้เรียนจับกลุ่มกันและพยายามร่วมกันสร้างแบบจำลองกระบวนการ เพื่อแสดงกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนในไมโตคอนเดรีย โดยใช้การยืนเรียงขนส่งน้ำเป็นตัวอนุมาน ตัวอย่างเช่น



มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

สะท้อนคิด (Reflection)

5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง

5.1 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อประเมินว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเกิดปัญหาหรือมีข้อบกพร่องอะไรบ้าง โดยทำการตรวจสอบด้วยข้อคำถาม เช่น

1) คนสุดท้ายที่รับน้ำมีความสำคัญอย่างไร

2) อะไรเป็นตัวกำหนดทิศทางการส่งต่อ

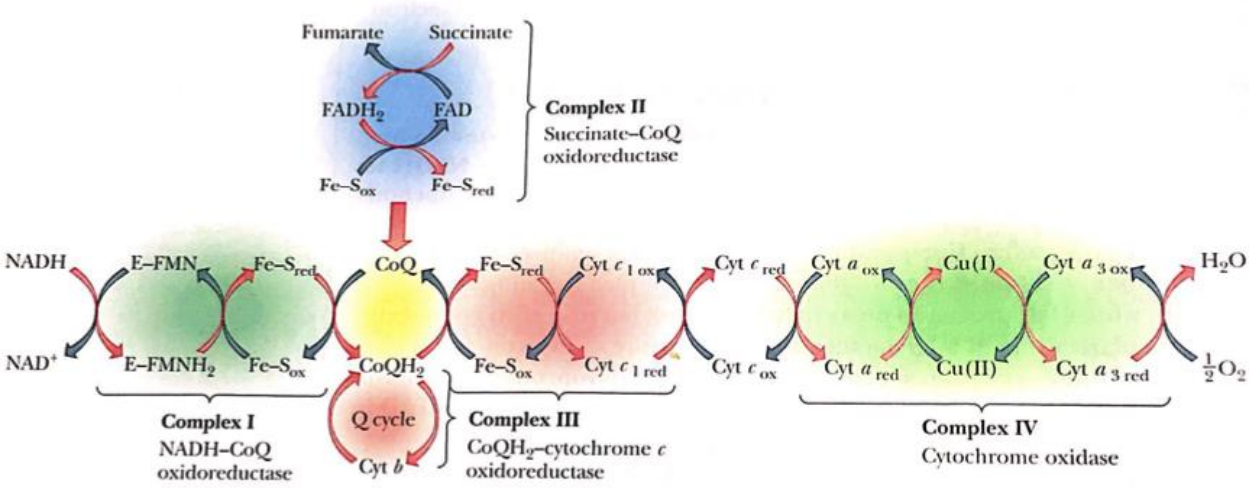
5.2 ผู้สอนถามคำถามเพื่อขยายขอบเขตการทำงานของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เช่น

1) จะเกิดอะไรขึ้นหากมีคนใดคนหนึ่งส่งต่อน้ำไม่ได้

2) Redox center มีได้กี่ประเภท อะไรบ้าง ทำไมถึงแตกต่างกัน

5.3 ผู้สอนเปรียบเทียบแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ได้จากการเปรียบเทียบ เข้ากับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่เป้าหมาย (รูปด้านล่าง) อภิปรายจุดเหมือนและจุดที่แตกต่าง รวมถึงชี้ให้เห็นข้อเด่นข้อด้อยของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

5.4 ผู้เรียนร่วมกันดัดแปลงแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายหรือเชื่อมโยงหรือสอดคล้องกับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป้าหมายให้มากที่สุด



6. ขั้นขยายแบบจำลอง

6.1 ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ใหม่ที่ใกล้เคียงกัน เช่น การขัดขวางการขนส่งอิเล็กตรอนด้วยตัวยับยั้งบางประเภท หรือจะเกิดอะไรขึ้นหากมีการค้นพบ electron carriers ชนิดใหม่ของโลก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

<u>แผนกิจกรรม 3</u> Shuttle mechanism

หัวข้อ Oxidative Phosphorylation และ Lipid metabolism

ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของระดับหน่วย (Unit Learning Outcome, ULO)

1. อธิบายองค์ประกอบและกระบวนการเกิด Shuttle mechanism ในวิถีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ
2. เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Shuttle mechanism แต่ละระบบ
3. อธิบายหลักการควบคุมและประโยชน์ของการควบคุม Shuttle mechanism

กิจกรรมการเรียนรู้

หาจุดสนใจ (Focus)

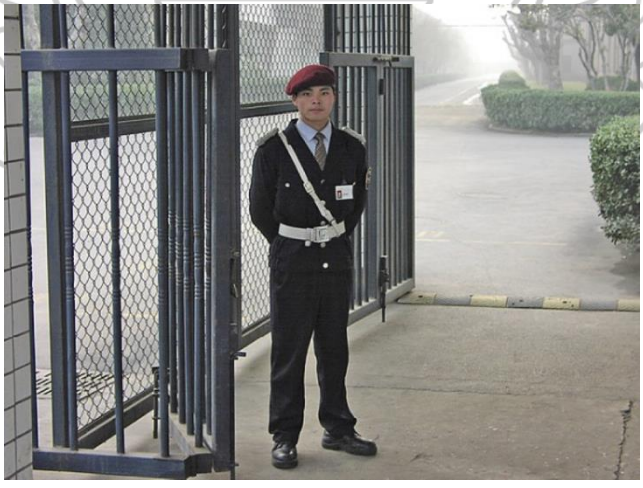
1. ขั้นตรวจสอบแนวคิดเดิมของผู้เรียน

ผู้สอนพิจารณาว่าลักษณะของ Shuttle mechanism มีลักษณะคล้ายคลึงกับสิ่งใดในชีวิตประจำวันของผู้เรียนที่มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้ เช่น รถบัสรับส่ง เรือข้ามฟาก เป็นต้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจใช้การเดินผ่านประตูที่มียามเฝ้ามาใช้เป็นตัวอุปมาน

2. ขั้นหาจุดสนใจในตัวอุปมาน

2.1 ผู้สอนดึงความสนใจของผู้เรียน โดยให้ชมภาพยามเฝ้าประตูที่ไม่อนุญาตให้คนทั่วไปผ่านได้ แต่ยอมให้เฉพาะคนที่มีบัตรอนุญาตผ่านเข้าออกเท่านั้น

2.2 ผู้สอนสอบถามผู้เรียนว่าหากนักศึกษาต้องการเดินเข้าไปส่งของข้างใน แต่ไม่มีบัตรผ่านจะต้องทำอย่างไร



ลงมือปฏิบัติ (Action)

3. ขั้นเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอุปมานกับแนวคิดเป้าหมาย

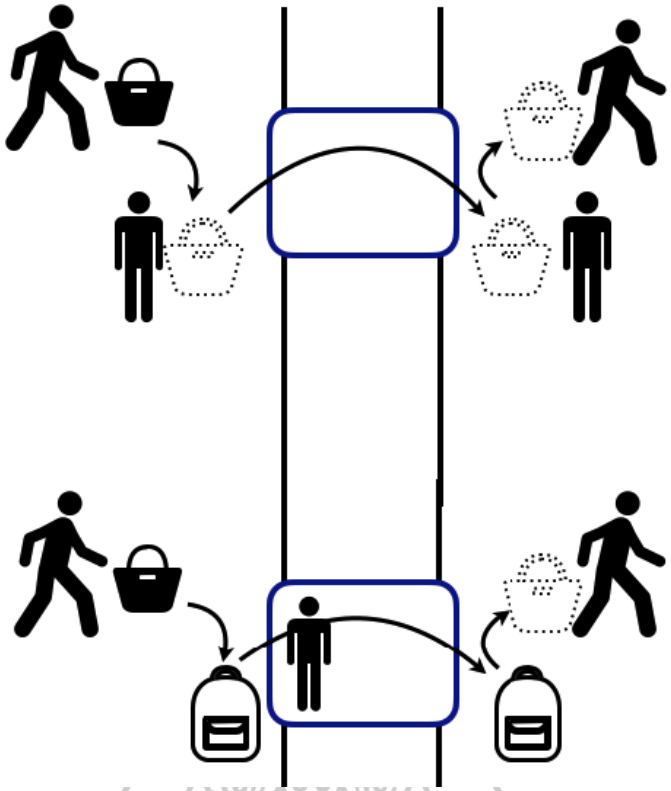
3.1 ผู้เรียนระบุองค์ประกอบของกระบวนการ

3.2 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันพิจารณาเปรียบเทียบตัวอุปมาน (Analogy) กับเป้าหมาย (Target) ที่รวมถึงแนวคิดที่ต้องการให้ผู้เรียนได้รับ

ตัวอุปมานในแบบจำลอง	**เป้าหมาย**	**แนวคิดทางชีวเคมี**
รั้วกั้น	เยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane)	- เยื่อหุ้มชั้นในของไมโตคอนเดรียมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ค่อยยอมให้สารต่าง ๆ ผ่านเข้าออกได้
ยามเฝ้าประตู	Transport protein หรือ enzyme ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาขนส่ง	- Transport protein เป็น integral protein ที่ฝังตัวในเยื่อหุ้ม ทำหน้าที่ในการยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกอย่างจำเพาะเจาะจง โดยอาจเป็น channel protein หรือ carrier protein - เอนไซม์บางชนิดฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้ม ช่วยในการขนส่งการหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสารเพื่อให้สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ เช่น เอนไซม์ในกลุ่ม transferase
คนที่มีบัตรผ่าน	สารที่ยอมให้ผ่านได้	- เป็นสารที่จำเพาะต่อ transport protein หรือ enzyme ที่เยื่อเลือกผ่านยอมให้ผ่านได้
คนที่ไม่มีบัตรผ่าน	สารที่ไม่ยอมให้ผ่าน	- สารอื่น ๆ ที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้
การแบ่งสัดส่วนพื้นที่ในเซลล์	Cellular Compartment	- เซลล์มีการแบ่งสัดส่วนพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาที่จำกัดที่อยู่ของสารอย่างชัดเจน เพื่อความสะดวกในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา

4. ขั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวอุปมาน

4.1 ผู้เรียนจับกลุ่มกันและพยายามร่วมกันสร้างแบบจำลองกระบวนการ เพื่อแสดงกระบวนการขนส่งสารเข้าออกเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย โดยใช้การขนของผ่านยามเฝ้าประตูเป็นตัวอนุมาน ตัวอย่างเช่น



สะท้อนคิด (Reflection)

5. ขั้นประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง

5.1 ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อประเมินว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเกิดปัญหาหรือมีข้อบกพร่องอะไรบ้าง โดยทำการตรวจสอบด้วยข้อคำถาม เช่น

1) การแบ่งสัดส่วนในเซลล์คืออะไร

2) ระบบ shuttle มีกระบวนการทำงานอย่างไร

5.2 ผู้สอนถามคำถามเพื่อขยายขอบเขตการทำงานของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ เช่น

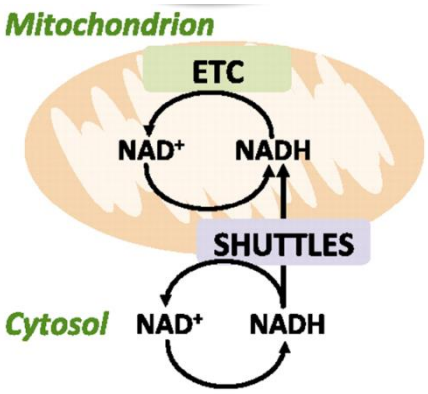
1) ทำไมถึงต้องกำหนดไม่ให้สารมีการผ่านได้อย่างอิสระ

2) ประโยชน์ของการแบ่งสัดส่วนและมีการเลือกผ่านสารคืออะไรบ้าง

3) การควบคุมระบบ shuttle ควรเป็นอย่างไร

5.3 ผู้สอนเปรียบเทียบแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่ได้จากการเปรียบเทียบ เข้ากับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการที่เป้าหมาย (รูปด้านล่าง) อภิปรายจุดเหมือนและจุดที่แตกต่าง รวมถึงชี้ให้เห็นข้อเด่นข้อด้อยของแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

5.4 ผู้เรียนร่วมกันดัดแปลงแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายหรือเชื่อมโยงหรือสอดคล้องกับแบบจำลองแนวคิดกระบวนการเป้าหมายให้มากที่สุด เช่น



6. ขั้นขยายแบบจำลอง

ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ใหม่ที่ใกล้เคียงกัน เช่น การที่แต่ละอวัยวะมีระบบ shuttle mechanism ที่ไม่เหมือนกัน หรือการควบคุมการไหลของสารใน lipid metabolism เป็นต้น

มหาวิทยาลัย
สุโขทัยธรรมาธิราช

ภาคผนวก ข

แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

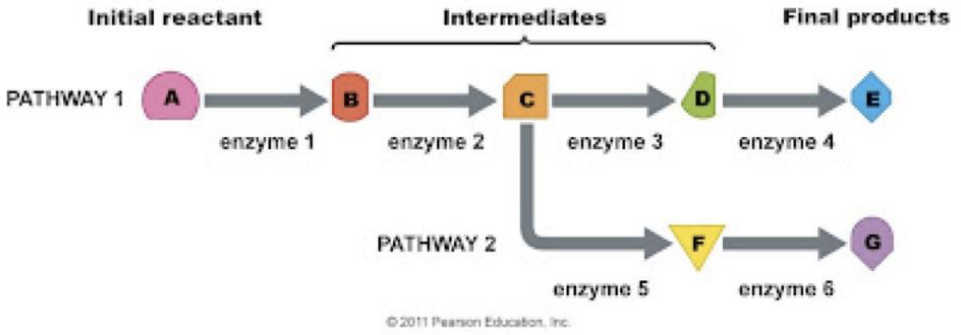
แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ

แบบทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. แบบทดสอบก่อนเรียน จำนวน 4 ข้อหลัก รวม 9 ข้อย่อย ใช้เวลาทำประมาณ 20 นาที
2. แบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 4 ข้อหลัก รวม 12 ข้อย่อย ใช้เวลาทำประมาณ 45 นาที

แบบทดสอบก่อนเรียน

ข้อที่ 1 พิจารณาแผนภาพนี้แล้วตอบคำถามด้านล่าง



จากแผนภาพ ให้บอกว่าเอนไซม์หมายเลขใดควรถูกยับยั้งหรือถูกกระตุ้น หากมีความต้องการต่อไปนี้

1.1 ต้องการเฉพาะสาร G ประมาณมาก แต่ไม่ต้องการสาร E (2 คะแนน)

1.2 ไม่ต้องการทั้งสาร E และ G (2 คะแนน)

1.3 หากสาร G มีปริมาณมาก แต่สาร E มีปริมาณน้อย (2 คะแนน)

แนวคำตอบ

1.1 หากต้องการสาร G ปริมาณมาก แต่ไม่ต้องการสาร E ควร**ยับยั้ง enzyme 3** เพื่อให้สารไหลไปยัง pathway 2 และสร้างเป็นสาร G มากขึ้น หรือ **enzyme 5 ควรถูกกระตุ้น**ให้ทำงานมากขึ้น เพื่อให้ดึงสาร C ให้กลายเป็นสาร F มากขึ้น

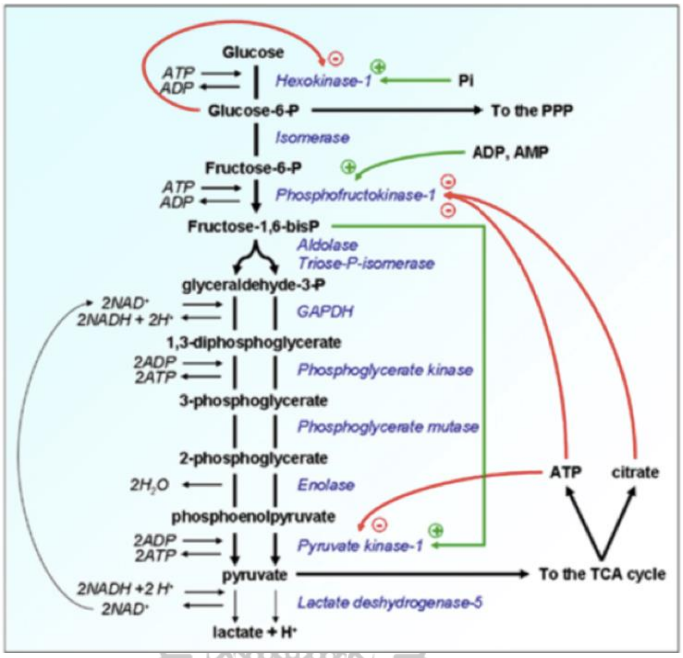
1.2 ควร**ยับยั้ง enzyme 1** เพื่อปิดทั้งระบบเนื่องจากเป็นเอนไซม์ตัวแรก

1.3 ควรปิด pathway 2 โดยการ**ยับยั้ง enzyme 5** เพื่อให้สาร C เปลี่ยนไปเป็นสาร D มากขึ้น หรือ **กระตุ้น enzyme 3** ให้ทำงานมากขึ้น เพื่อเพิ่มโอกาสให้สาร C ให้กลายเป็นสาร D มากขึ้น

เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
1.1	ตอบหมายเลขเอนไซม์ หมายเลขใดหมายเลขหนึ่ง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบได้อย่างถูกต้อง	0.5 คะแนน -- ตอบถูกต้องเฉพาะหมายเลขของเอนไซม์หมายเลขใดหมายเลขหนึ่ง ว่าควรถูกกระตุ้นหรือยับยั้ง โดยไม่ระบุเหตุผลประกอบ 1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือเหตุผลไม่สัมพันธ์กับเอนไซม์ที่เลือกมา เช่น ต้องการให้สารไหลไป pathway 2 แต่ไม่ได้ระบุว่าทำอย่างไร หรือส่งผลต่อสารใด	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
1.2	ตอบหมายเลขเอนไซม์พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบได้อย่างถูกต้อง	0.5 คะแนน -- ตอบถูกต้องเฉพาะหมายเลขของเอนไซม์ ว่าควรถูกกระตุ้นหรือยับยั้ง โดยไม่ระบุเหตุผลประกอบ 1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือเหตุผลไม่สัมพันธ์กับเอนไซม์ที่เลือกมา เช่น ต้องการให้ไม่มีสาร C แต่ไม่ได้ระบุว่าทำอย่างไร หรือส่งผลต่อสารใดบ้าง	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
1.3	ตอบหมายเลขเอนไซม์ หมายเลขใดหมายเลขหนึ่ง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบได้อย่างถูกต้อง	0.5 คะแนน -- ตอบถูกต้องเฉพาะหมายเลขของเอนไซม์หมายเลขใดหมายเลขหนึ่ง ว่าควรถูกกระตุ้นหรือยับยั้ง โดยไม่ระบุเหตุผลประกอบ 1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือเหตุผลไม่สัมพันธ์กับเอนไซม์ที่เลือกมา เช่น ต้องการให้สาร C หยุดไหลเนื่องจากเป็นสารที่ทางแยก แต่ไม่ได้ระบุว่าทำอย่างไร หรือส่งผลต่อสารใด	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ข้อ 2 จากแผนภาพการเกิด Glycolysis ด้านล่าง



หากนักศึกษาต้องการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณมาก ๆ โดยใช้ lactic acid bacteria และใช้กลูโคสเป็นสารอาหารหลัก ให้พิจารณาว่าในสถานการณ์ที่มีการเติมสารต่าง ๆ ให้กับแบคทีเรียต่อไปนี้จะทำให้ผลผลิตกรดแลคติก **มากขึ้น** หรือ **น้อยลง** พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ (ข้อละ 2 คะแนน)

2.1 ลดปริมาณ Glucose

2.2 เติม Na_2HPO_4

2.3 มีปริมาณ ATP เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย

2.4 มีปริมาณ NAD^+ เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย

แนวคำตอบ

2.1 น้อยลง เนื่องจาก Glucose คือสารตั้งต้นในการผลิตกรดแลคติก หากลดปริมาณ Glucose ก็จะทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกน้อยตามไปด้วย

2.2 มากขึ้น เนื่องจากในแผนภาพ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}/P_i) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Hexokinase-1 ซึ่งจะเพิ่มการทำงานของ Glycolysis pathway และเพิ่มโอกาสผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น

2.3 น้อยลง เนื่องจากในแผนภาพ ATP ยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ Phosphofructokinase-1 และ Pyruvate kinase ทำให้ Glycolysis pathway ลดการทำงานลง และการผลิตกรดแลคติกน้อยตามไปด้วย

2.4 มากขึ้น เนื่องจากในแผนภาพ การเพิ่มปริมาณ NAD^+ จะเพิ่มโอกาสในการรับอิเล็กตรอนจากเอนไซม์ GAPDH แล้วไปส่งให้กับเอนไซม์ Lactate dehydrogenase มากขึ้น ทำให้เพิ่มโอกาสผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น

เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
2.1	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน -- อธิบายให้เห็นภาพว่า Glucose เกี่ยวข้องกับสารตั้งต้นของ Pathway แต่คำอธิบายไม่ได้นำมาสู่คำตอบที่ถูกต้อง หรือมีคำอธิบายอื่น ๆ ที่อาจไม่สอดคล้องกัน เช่น การลด Glucose ทำให้เกิด Feedback inhibition ของ Glu 6-P แล้วทำให้ปริมาณกรดแลคติกลดลง	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.2	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วนที่สัมพันธ์กับการเติมหมู่ฟอสเฟต แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงเอนไซม์ได้ เช่น การเติมฟอสเฟตทำให้เพิ่มการทำงานของ Kinase และกระตุ้น Glycolysis	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.3	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงเอนไซม์ได้ เช่น ATP ที่เพิ่มขึ้นแสดงออกถึงปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นในเซลล์ ดังนั้น Glycolysis ควรทำงานลดลง	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.4	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน -- ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือไม่ได้อธิบายในรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับแผนภาพ เช่น อธิบายได้ว่า NAD^+ ช่วยให้เซลล์สลายสารอาหารได้ดีขึ้น เนื่องจากรับอิเล็กตรอนได้มากขึ้น แต่ไม่ได้บอกว่ารับ-ส่งอิเล็กตรอนที่เอนไซม์ใด	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

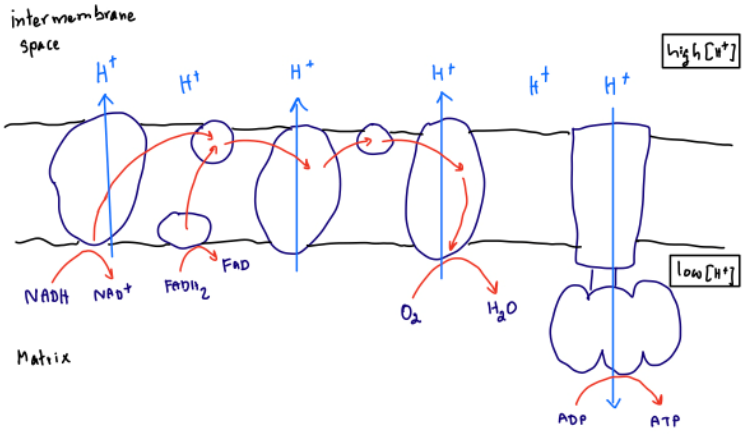
ข้อ 3 CN^- เป็นสารที่ยับยั้ง Complex IV ในการขนส่งอิเล็กตรอน ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ถูกต้อง” หากมีการเติม KCN ลงในเซลล์ที่มี NADH และ O_2 มากเกินพอ พร้อมกับวาดภาพประกอบคำตอบ (5 คะแนน)

1. Coenzyme Q อยู่ในรูปรีดิวซ์
2. Cytochrome c อยู่ในรูปออกซิไดซ์
3. ATP synthase หยุดการทำงาน
4. Proton motive force จะลดลง
5. O_2 ไม่สามารถรับอิเล็กตรอนแล้วเกิดเป็น H_2O

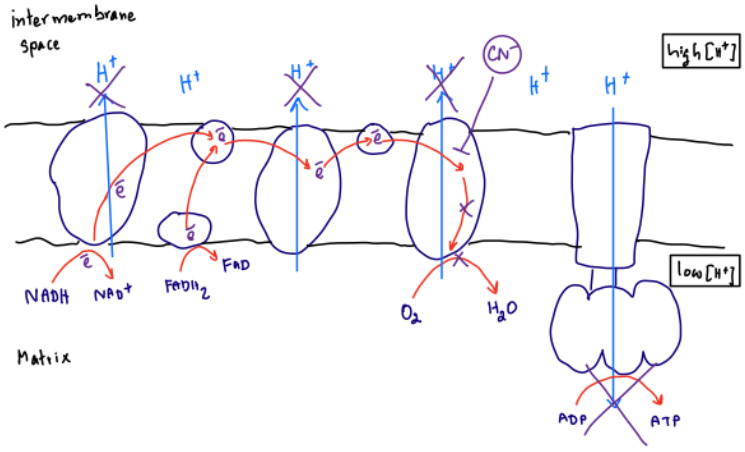
แนวคำตอบ

ข้อ 2 ไม่ถูกต้อง เนื่องจากหาก Complex IV ถูกยับยั้งแล้ว electron carrier ทั้งหมดจะอยู่ในสภาวะ reduced เนื่องจากส่งอิเล็กตรอนต่อไปให้กับ O_2 ไม่ได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้มี Proton motive force ลดลง และ ATP synthase หยุดทำงานในที่สุด ซึ่งสามารถวาดออกมาเป็นแบบจำลองได้ดังนี้

ก่อนได้รับ CN^-



หลังได้รับ CN^-



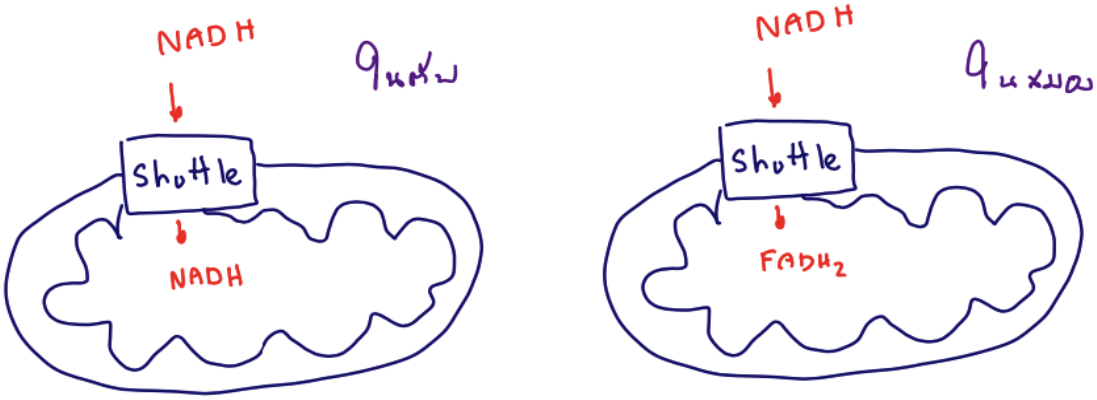
เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
3	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งวาดภาพประกอบโมเดลที่มีครบทุกองค์ประกอบ	1 คะแนน – เลือกคำตอบได้ถูกต้อง ภาพแบบจำลองมีองค์ประกอบที่ไม่สมบูรณ์ โดยแบ่งสัดส่วนคะแนนดังนี้ 1 คะแนน – ระบุตำแหน่งการยับยั้งของไซยาไนด์ได้ถูกต้อง 1 คะแนน – ระบุการส่งอิเล็กตรอนให้ออกซิเจนถูกยับยั้ง 1 คะแนน – ระบุการปั๊มโปรตรอนและการสร้าง ATP ที่ ATP synthase ถูกยับยั้ง 1 คะแนน – ระบุว่า redox center ทุกตัวที่อยู่หลัง complex IV อยู่ในสภาวะ reduced	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ข้อ 4 เมื่อทำการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลแบบใช้ออกซิเจนแล้วทำไมตับและสมองถึงได้จำนวน ATP ไม่เท่ากัน วาดภาพประกอบคำอธิบาย (3 คะแนน)

แนวคำตอบ

เนื่องจากอวัยวะทั้งสองใช้ระบบ Shuttle mechanism ที่แตกต่างกัน โดยตับใช้ระบบ Malate-aspartate shuttle ซึ่งจะส่งอิเล็กตรอนจาก NADH ใน cytosol ไปยัง NADH ใน matrix ทำให้ได้ 2.5 ATP ต่ออิเล็กตรอน แต่สมองใช้ระบบ Glycerol 3-phosphate shuttle ซึ่งจะส่งอิเล็กตรอนจาก NADH ใน cytosol ไปยัง $FADH_2$ ทำให้ได้ 1.5 ATP ต่ออิเล็กตรอน

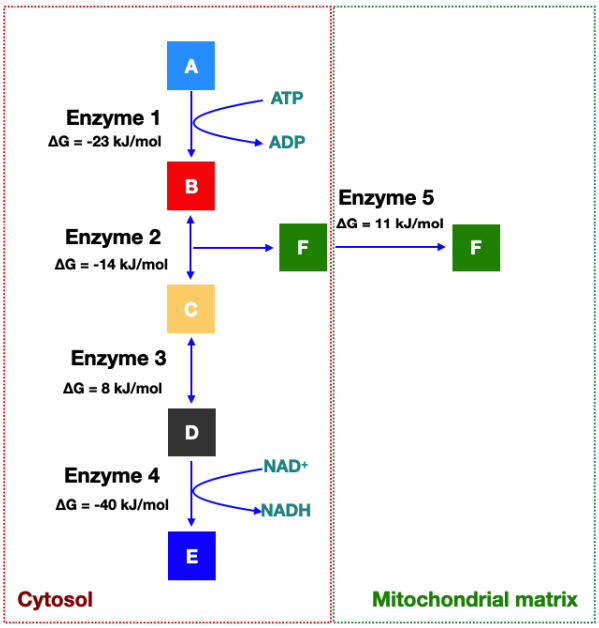


เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
4	อธิบายคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งวาดภาพประกอบโมเดลที่มีครบทุกองค์ประกอบ	มีการแบ่งสัดส่วนคะแนนดังนี้ 0.5 คะแนน – อธิบายได้ว่าปริมาณ ATP ที่แตกต่างกันมาจากระบบ shuttle mechanismที่ต่างกัน 0.5 คะแนน – ระบุชื่อระบบ shuttle mechanism ที่ต่างกันของทั้งสองอวัยวะได้ 1 คะแนน – วาดภาพแบบจำลองที่แสดงการนำอิเล็กตรอนจาก NADH เข้าสู่ Mitochondria 1 คะแนน – วาดภาพแบบจำลองที่แสดงการนำส่งอิเล็กตรอนเข้าสู่ Mitochondria ด้วยระบบที่แตกต่างกัน โดยระบบหนึ่งส่งให้ NADH อีกระบบส่งให้ $FADH_2$	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

แบบทดสอบหลังเรียน

ข้อ 1 จากแผนภาพแบบจำลอง metabolic pathway ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้



1.1 เอนไซม์หมายเลขใดที่ "ไม่เหมาะสม" ถูกเลือกเป็นตำแหน่งควบคุม และเพราะเหตุใด (1 คะแนน)

1.2 Enzyme 3 มีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาไปทางด้านหน้า หรือย้อนกลับ เพราะเหตุใด และหากปฏิกิริยามีแนวโน้มที่จะย้อนกลับ จะมีวิธีใดที่จะสามารถพลักปฏิกิริยาให้เดินหน้าต่อไปได้ (2 คะแนน)

1.3 หากเซลล์ต้องการสาร E ปริมาณมาก แต่ไม่ต้องการสาร F เซลล์จะมีวิธีการทำอย่างไรได้บ้าง ให้เสนอมาอย่างน้อย 2 วิธี (2 คะแนน)

แนวคำตอบ

1.1 **Enzyme 3** เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่มีค่า $\Delta G'^{\circ}$ เข้าใกล้ศูนย์ (หรือเป็นบวก) ปฏิกิริยาผันกลับได้ ไม่มีการใช้ coenzyme ที่สำคัญ และไม่ใช่ตำแหน่งทางแยก

1.2 มีแนวโน้มจะย้อนกลับ เนื่องจากมีค่า $\Delta G'^{\circ}$ เป็นบวกเล็กน้อย แต่สามารถผลักปฏิกิริยาไปด้านหน้าโดยการเกิด coupling reaction กับ Enzyme 4

1.3 วิธีที่เซลล์สามารถทำได้ ได้แก่

1.3.1 ยับยั้งการทำของของ Enzyme 5

1.3.2 เพิ่มการทำงานของ Enzyme 3

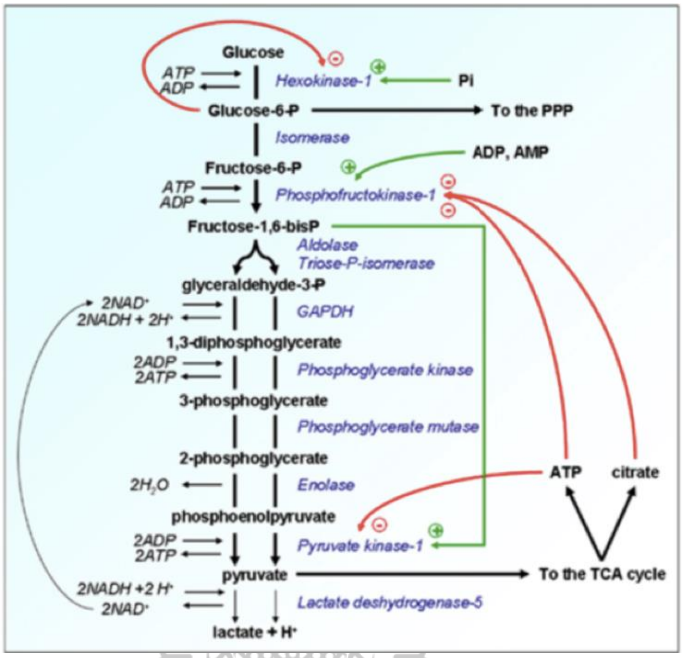
1.3.3 เพิ่มปริมาณ NAD^+

เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
1.1	ตอบหมายเลขเอนไซม์ พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบได้อย่างถูกต้อง	0.5 คะแนน – ตอบหมายเลขเอนไซม์ถูกต้องแต่อธิบายเหตุผลคลุมเครือ ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือเหตุผลไม่สัมพันธ์กับเอนไซม์ที่เลือกมา เช่น เป็นเอนไซม์ที่มีค่า $\Delta G'^{\circ}$ มากที่สุดในระบบ	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม
1.2	ตอบทิศทางปฏิกิริยา พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบได้อย่างถูกต้อง	1 คะแนน – ตอบถูกต้องว่าย้อนกลับโดยอ้างอิงว่าเกี่ยวข้องกับค่า ที่เป็นบวก $\Delta G'^{\circ}$ แต่ไม่ระบุวิธีการแก้ปัญหา 1.5 คะแนน – ตอบถูกต้องว่าย้อนกลับโดยอ้างอิงว่าเกี่ยวข้องกับค่า ที่เป็นบวก $\Delta G'^{\circ}$ แต่ระบุวิธีการแก้ปัญหาที่อาจใช้ได้แต่มีความคลุมเครือ เช่น ต้องทำการลดค่า $\Delta G'^{\circ}$ แต่ไม่ได้ได้ระบุว่าต้องทำอย่างไร	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
1.3	เลือกตอบเหตุผลถูกอย่างน้อย 2 ข้อ	1 คะแนน – เลือกตอบเหตุผลถูกเพียง 1 ข้อ	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ข้อ 2 จากแผนภาพการเกิด Glycolysis ด้านล่าง



หากนักศึกษาต้องการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณมาก ๆ โดยใช้ lactic acid bacteria และใช้กลูโคสเป็นสารอาหารหลัก ให้พิจารณาว่าในสถานการณ์ที่มีการเติมสารต่าง ๆ ให้กับแบคทีเรียต่อไปนี้จะทำให้ผลผลิตกรดแลคติก **มากขึ้น** หรือ **น้อยลง** พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ (ข้อละ 2 คะแนน)

2.1 เพิ่มปริมาณ Glucose

2.2 เติม Citrate

2.3 มีปริมาณ ADP เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย

2.4 มีปริมาณ NAD^+ เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย

แนวคำตอบ

2.1 เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Glucose คือสารตั้งต้นในการผลิตกรดแลคติก หากเพิ่มปริมาณ Glucose ก็มีโอกาสที่จะทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติกเพิ่มตามไปด้วย

2.2 น้อยลง เนื่องจากในแผนภาพ Citrate หรือกรดซิตริก เป็นตัวยับยั้งของเอนไซม์ Phosphofructokinase-1 ทำให้ Glycolysis pathway ลดการทำงานลง และการผลิตกรดแลคติกน้อยตามไปด้วย

2.3 มากขึ้น เนื่องจากในแผนภาพ ADP กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Phosphofructokinase-1 ซึ่งจะเพิ่มการทำงานของ Glycolysis pathway และเพิ่มโอกาสผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น

2.4 มากขึ้น เนื่องจากในแผนภาพ การเพิ่มปริมาณ NAD^+ จะเพิ่มโอกาสในการรับอิเล็กตรอนจากเอนไซม์ GAPDH แล้วไปส่งให้กับเอนไซม์ Lactate dehydrogenase มากขึ้น ทำให้เพิ่มโอกาสผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น

เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

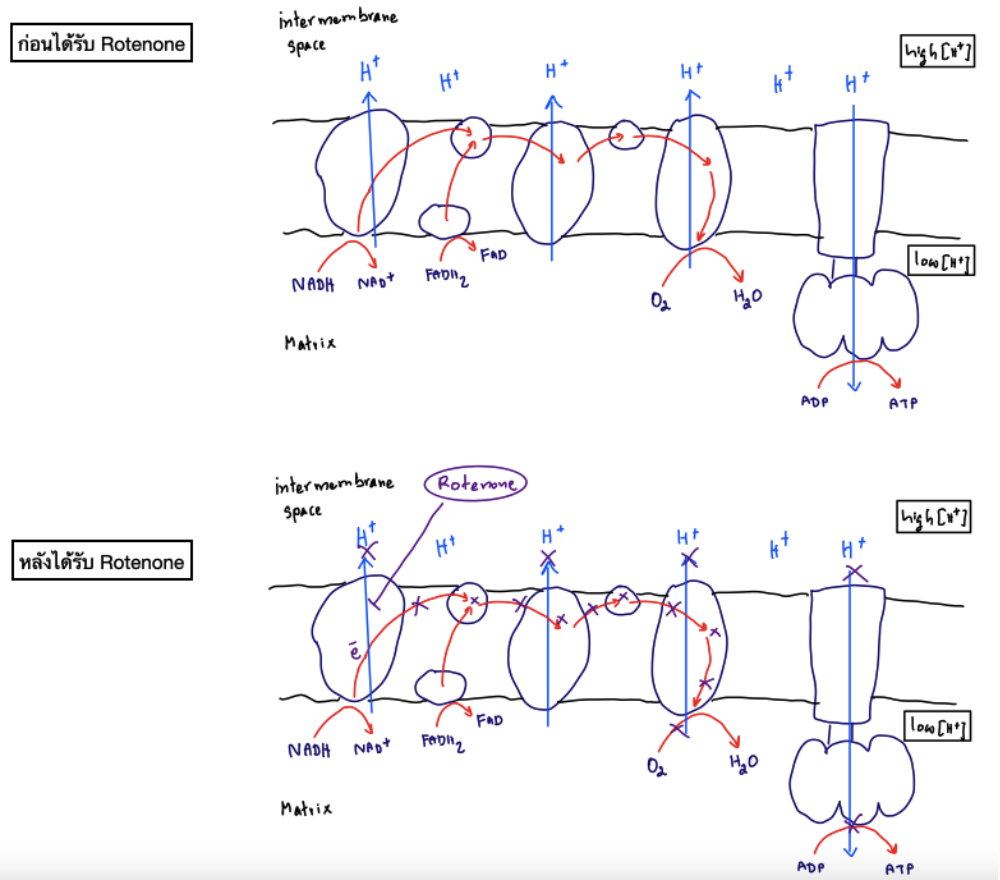
ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
2.1	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน – อธิบายให้เห็นภาพว่า Glucose เกี่ยวข้องกับสารตั้งต้นของ Pathway แต่คำอธิบายไม่ได้นำมาสู่คำตอบที่ถูกต้อง หรือมีคำอธิบายอื่น ๆ ที่อาจไม่สอดคล้องกัน เช่น การเพิ่ม Glucose ทำให้เกิด Feedback inhibition ของ Glu 6-P แล้วทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้น	คำตอบอื่น ๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.2	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน – ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงเอนไซม์ได้ เช่น Citrate เป็นตัวยับยั้งของกระบวนการหมัก ทำให้หมักได้น้อยลง	คำตอบอื่น ๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.3	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน – ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงเอนไซม์ได้ เช่น ADP ที่เพิ่มขึ้นแสดงออกถึงปริมาณพลังงานที่ลดลงในเซลล์ ดังนั้น Glycolysis ควรทำงานเพิ่มขึ้น	คำตอบอื่น ๆ หรือไม่ตอบคำถาม
2.4	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลได้สอดคล้องกัน	1 คะแนน – ตอบถูกเฉพาะเหตุผลบางส่วน แต่ขาดเหตุผลมาสนับสนุน หรือไม่ได้อธิบายในรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับแผนภาพ เช่น อธิบายได้ว่า NAD^+ ช่วยให้เซลล์สลายสารอาหารได้ดีขึ้น เนื่องจากรับอิเล็กตรอนได้มากขึ้น แต่ไม่ได้บอกว่ารับ-ส่งอิเล็กตรอนที่เอนไซม์ใด	คำตอบอื่น ๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ข้อ 3 Rotenone เป็นสารที่ยับยั้ง Complex I ในการขนส่งอิเล็กตรอน ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ถูกต้อง” หากมีการเติม Rotenone ลงในเซลล์ที่มี NADH และ O_2 มากเกินพอ พร้อมกับวาดภาพประกอบคำตอบ (5 คะแนน)

1. Coenzyme Q อยู่ในรูปรีดิวซ์
2. Cytochrome c อยู่ในรูปออกซิไดซ์
3. ATP synthase หยุดการทำงาน
4. Proton motive force จะลดลง
5. O_2 ไม่สามารถรับอิเล็กตรอนแล้วเกิดเป็น H_2O

แนวคำตอบ

ข้อ 1 ไม่ถูกต้อง เนื่องจากหาก Complex I ถูกยับยั้งแล้ว electron carrier ทั้งหมดจะอยู่ในสภาวะ Oxidized เนื่องจากไม่ได้รับอิเล็กตรอนมาตั้งแต่แรก โดยจะไม่มีอิเล็กตรอนส่งต่อไปให้กับ O_2 ซึ่งจะส่งผลทำให้มี Proton motive force ลดลง และ ATP synthase หยุดทำงานในที่สุด ซึ่งสามารถวาดออกมาเป็นแบบจำลองได้ดังนี้



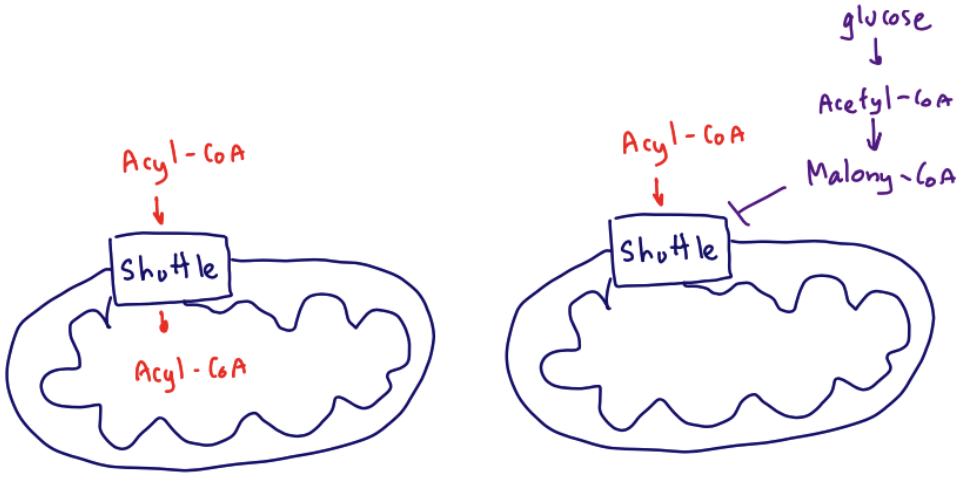
เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
3	เลือกคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งวาดภาพประกอบโมเดลที่มีครบทุกองค์ประกอบ	1 คะแนน – เลือกคำตอบได้ถูกต้อง ภาพแบบจำลองมีองค์ประกอบที่ไม่สมบูรณ์ โดย<u>แบ่งสัดส่วนคะแนนดังนี้</u> 1 คะแนน – ระบุตำแหน่งการยับยั้งของโรติโนนได้ถูกต้อง 1 คะแนน – ระบุการส่งอิเล็กตรอนให้ออกซิเจนถูกยับยั้ง 1 คะแนน – ระบุการปั๊มโปรตรอนและการสร้าง ATP ที่ ATP synthase ถูกยับยั้ง 1 คะแนน – ระบุว่า redox center ทุกตัวที่อยู่หลัง complex I อยู่ในสภาวะ oxidized	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

<u>ข้อ 4</u> การทานน้ำตาลหรือแป้งปริมาณมากทำให้เกิดการยับยั้งการสลายไขมันในร่างกายได้ที่กระบวนการใด วาดภาพประกอบคำอธิบาย (3 คะแนน)

แนวคำตอบ

เมื่อทานแป้งและน้ำตาลมาก ๆ จะทำให้มีกลูโคสในเลือดสูง และอินซูลินสูง ส่งผลให้การเปลี่ยนเกิดการเปลี่ยนกลูโคสผ่านไกลโคไลซิสกลายเป็นไพรูเวตและ Acetyl-CoA ในที่สุด ต่อมาอินซูลินจะกระตุ้นเปลี่ยน Acetyl-CoA ให้เป็น Malony-CoA ซึ่งจะเป็นตัวยับยั้งสำคัญในการสลายกรดไขมันที่ระบบ carnitine shuttle ในการนำส่ง Acyl-CoA เข้าสู่ไมโตคอนเดรีย



เกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics)

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนบางส่วน	ไม่มีคะแนน
4	อธิบายคำตอบถูกต้อง พร้อมทั้งวาดภาพประกอบโมเดลที่มีครบทุกองค์ประกอบ	มีการแบ่งสัดส่วนคะแนนดังนี้ 0.5 คะแนน – อธิบายได้ว่าการยับยั้งการสลายกรดไขมันเกิดขึ้นที่ระบบ shuttle mechanism ของ Acyl-CoA 0.5 คะแนน – ระบุได้ว่าการรับประทานคาร์โบไฮเดรตปริมาณสูง นำไปสู่การสังเคราะห์ Acetyl-CoA และ Malonyl-CoA สูง 1 คะแนน – วาดภาพแบบจำลองที่แสดงการนำ Acyl-CoA จาก Cytosol เข้าสู่ Mitochondria 1 คะแนน – วาดภาพแบบจำลองที่แสดงการยับยั้งของ Malonyl-CoA ที่ระบบ shuttle mechanism	คำตอบอื่นๆ หรือไม่ตอบคำถาม

ผลการทดสอบความสอดคล้องด้านเนื้อหาของแบบทดสอบ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจแบบทดสอบ

1. ผศ. ดร.วิสูตร โพธิเงิน สังกัด คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
2. ผศ. ดร.ธนพล เจริญวงษ์ไพบูล สังกัด คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
3. อ. ดร.ชนากานต์ ทองสุข สังกัด คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<u>แบบประเมิน</u>

การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและอภิปัญญาโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นฐานแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาในรายวิชาชีวเคมี ปีที่ 2 ในมหาวิทยาลัยของรัฐ (ฉบับร่าง)

สำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ชี้แจง ให้พิจารณาข้อสอบแต่ละข้อต่อไปนี้โดยทำเครื่องหมาย ลงในช่องความคิดเห็นดังนี้

1 หมายถึง **แน่ใจ**ว่าข้อสอบสอดคล้องตามเนื้อหาและจุดประสงค์

0 หมายถึง **ไม่แน่ใจ**ว่าข้อสอบสอดคล้องตามเนื้อหาและจุดประสงค์

-1 หมายถึง **แน่ใจว่าข้อสอบไม่**สอดคล้องตามเนื้อหาและจุดประสงค์

แบบทดสอบก่อนเรียน

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
อธิบายลักษณะรูปแบบ และหลักการทำงานของปฏิกิริยาในวิถีเมแทบอลิซึมในเซลล์ทั่วไปได้	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของวิถีเมแทบอลิซึมมาใช้ในการทำนายปรากฏการณ์	ประยุกต์ใช้	1. เอนไซม์หมายเลขใดควรถูกยับยั้งหรือถูกกระตุ้นหากมีความต้องการต่อไปนี้ 1.1 ต้องการเฉพาะสาร G ประมาณมาก แต่ไม่ต้องการสาร E	3			
		ประยุกต์ใช้	1.2 ไม่ต้องการทั้งสาร E และ G	3			
		ประยุกต์ใช้	1.3 หากสาร G มีปริมาณมาก แต่สาร E มีปริมาณน้อย	3			
ระบุหลักการทำงานของเอนไซม์ โคเอนไซม์ โคแฟกเตอร์ และตัวยับยั้งในวิถีเมแทบอลิซึมได้	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของวิถีเมแทบอลิซึมมาปรับให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป	วิเคราะห์	2. หากนักศึกษาต้องการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณมาก ๆ โดยใช้ lactic acid bacteria และใช้กลูโคสเป็นสารอาหารหลัก ให้พิจารณาว่าในสถานการณ์ที่มีการเติมสารต่าง ๆ ให้กับแบคทีเรียต่อไปนี้จะทำให้ผลผลิตกรดแลคติก **มากขึ้น** หรือ **น้อยลง** พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ 2.1 ลดปริมาณ Glucose	3			

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
		วิเคราะห์	2.2 เติม Na_2HPO_4	3			
		วิเคราะห์	2.3 มีปริมาณ ATP เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย	3			
		วิเคราะห์	2.4 มีปริมาณ NAD^+ เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย	3			
อธิบายกระบวนการทำงานของ Electron carriers ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีปัจจัยอื่นรบกวนได้	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของวิถีเมแทบอลิซึมมาปรับให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป	วิเคราะห์	3. CN^- เป็นสารที่ยับยั้ง Complex IV ในการขนส่งอิเล็กตรอน ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ถูกต้อง” หากมีการเติม KCN ลงในเซลล์ที่มี NADH และ O_2 มากเกินพอ พร้อมกับวาดภาพประกอบ คำตอบ 1. Coenzyme Q อยู่ในรูปรีดิวซ์ 2. Cytochrome c อยู่ในรูปออกซิไดซ์ 3. ATP synthase หยุดการทำงาน 4. Proton motive force จะลดลง 5. O_2 ไม่สามารถรับอิเล็กตรอนแล้วเกิดเป็น H_2O	3			
อธิบายองค์ประกอบและกระบวนการเกิด	สร้างแบบจำลองแนวคิด	เข้าใจ	4. เมื่อทำการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลแบบใช้ออกซิเจนแล้วทำไมตับและสมองถึง	3			

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
Shuttle mechanism ในวิถีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ	กระบวนการในสถานการณ์ต่าง ๆ		ได้จำนวน ATP ไม่เท่ากัน วาดภาพประกอบคำอธิบาย				

แบบทดสอบหลังเรียน

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
ระบุหลักการทำงานของเอนไซม์ โคเอนไซม์ โคแฟกเตอร์ และตัวยับยั้งในวิถีเมแทบอลิซึมได้	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของวิถีเมแทบอลิซึมมาใช้ในการทำนายปรากฏการณ์	ประยุกต์ใช้	1. จากแผนภาพแบบจำลอง metabolic pathway ที่กำหนดให้ จงตอบคำถาม 1.1 เอนไซม์หมายเลขใดที่ "ไม่เหมาะสม" ถูกเลือกเป็นตำแหน่งควบคุม และเพราะเหตุใด	3			
		ประยุกต์ใช้	1.2 Enzyme 3 มีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาไปทางด้านหน้า หรือย้อนกลับ เพราะเหตุใด และหากปฏิกิริยามีแนวโน้มที่จะย้อนกลับ จะมีวิธีใดที่จะสามารถพลักปฏิกิริยาให้เดินหน้าต่อไปได้	3			
		ประยุกต์ใช้	1.3 หากเซลล์ต้องการสาร E ปริมาณมาก แต่ไม่ต้องการสาร F เซลล์จะมีวิธีการทำอย่างไรได้บ้าง ให้เสนอมาอย่างน้อย 2 วิธี	3			
ระบุหลักการทำงานของเอนไซม์ โคเอนไซม์ โคแฟกเตอร์ และตัวยับยั้ง	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของ	วิเคราะห์	2. หากนักศึกษาต้องการผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณมาก ๆ โดยใช้ lactic acid bacteria และใช้กลูโคสเป็นสารอาหารหลัก ให้พิจารณาว่าใน	3			

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
ในวิถีเมแทบอลิซึมได้	วิถีเมแทบอลิซึมมาปรับให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป		สถานการณ์ที่มีการเติมสารต่าง ๆ ให้กับแบคทีเรียต่อไปนี้จะทำให้ผลผลิตกรดแลคติก **มากขึ้น** หรือ **น้อยลง** พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ 2.1 เพิ่มปริมาณ Glucose				
		วิเคราะห์	2.2 เติม Citrate	3			
		วิเคราะห์	2.3 มีปริมาณ ADP เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย	3			
		วิเคราะห์	2.4 มีปริมาณ NAD^+ เพิ่มขึ้นในเซลล์แบคทีเรีย				
อธิบายกระบวนการทำงานของ Electron carriers ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีปัจจัยอื่นรบกวนได้	ขยายแบบจำลองแนวคิดกระบวนการ โดยการนำแบบจำลองแนวคิดกระบวนการของวิถีเมแทบอลิซึมมาปรับให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป	วิเคราะห์	3. Rotenone เป็นสารที่ยับยั้ง Complex I ในการขนส่งอิเล็กตรอน ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ถูกต้อง” หากมีการเติม Rotenone ลงในเซลล์ที่มี NADH และ O_2 มากเกินพอ พร้อมกับวาดภาพประกอบคำตอบ 1. Coenzyme Q อยู่ในรูปรีดิวซ์ 2. Cytochrome c อยู่ในรูปออกซิไดซ์ 3. ATP synthase หยุดการทำงาน	3			

จุดประสงค์	แนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ระดับพฤติกรรม	ข้อสอบ	คะแนนการพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
				+1	0	-1	
			4. Proton motive force จะลดลง 5. O_2 ไม่สามารถรับอิเล็กตรอนแล้วเกิดเป็น H_2O				
อธิบายองค์ประกอบและกระบวนการเกิด Shuttle mechanism ในวิถีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ	สร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการในสถานการณ์ต่าง ๆ	วิเคราะห์	4. การทานน้ำตาลหรือแป้งปริมาณมากทำให้เกิดการยับยั้งการสลายไขมันในร่างกายได้ที่กระบวนการใด วาดภาพประกอบคำอธิบาย	3			

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ภาคผนวก ค

แบบวัดอภิปัญญา

แบบวัดอภิปัญญา

แบบวัดอภิปัญญาได้มาจากแบบของ Schraw, & Dennison, (1994) และได้รับการแปลและเรียบเรียงโดย สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (2559) ทั้งหมด 52 ข้อ

นิยามตัวแปร	ตัวบ่งชี้	ข้อคำถาม	จำนวนคำถาม (ข้อ)
อภิปัญญา (Metacognition) หมายถึงการรู้ตัวในทักษะของบุคคลในการสะท้อน เข้าใจ และควบคุมการเรียนรู้ให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้	1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (Knowledge of cognition) มี 3 ตัวบ่งชี้คือ 1. ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่จาเป็นต้องมี (declarative knowledge)	5. ฉันรู้ว่าฉันเรียนเก่งเรื่องใด อ่อนเรื่องใด 10. ฉันรู้ว่าอะไรเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่ควรเรียนรู้ 12. ฉันจัดวางระบบข้อมูล ให้ค้นหาได้ง่าย 16. ในการเรียนแต่ละครั้งฉันรู้ว่าครูคาดหวังให้ฉันเรียนรู้อะไรบ้าง 17 ฉันจำข้อมูลต่างๆ ได้ดี 20. ฉันสามารถควบคุมตัวเองให้เรียนรู้ได้ 32. ฉันสามารถประเมินตัวฉันเองได้ว่าเรียนรู้ได้ดีแค่ไหน 46. ฉันเรียนบางเรื่องได้ดีเมื่อฉันสนใจในสิ่งนั้น	8
	2. ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทำงาน (procedural knowledge)	3. ฉันพยายามใช้วิธีการทำงานที่เคยใช้สำเร็จในอดีต 14. ในการแก้ปัญหา ฉันรู้ว่าวิธีการที่ฉันใช้จะเกิดผลลัพธ์เฉพาะ ๆ ใดบ้าง	4
	3. ความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขการทำงานให้	27. ในระหว่างเรียน ฉันรู้ตัวว่าตัวเองกำลังเรียนด้วยวิธีการใด	5

นิยามตัวแปร	ตัวบ่งชี้	ข้อคำถาม	จำนวนคำถาม (ข้อ)
	สำเร็จ (conditional knowledge)	33. ฉันเป็นคนที่เลือกใช้วิธีการเรียนที่เหมาะสมได้โดยไม่ต้องมีใครบอก 15 ฉันเรียนได้ดีเมื่อฉันรู้อะไรบางอย่างของสิ่งนั้นแล้ว 18. ฉันใช้วิธีการเรียนหลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ 26. เมื่อไม่มีอารมณ์ที่จะเรียน ฉันสามารถกระตุ้นให้ตัวเองเรียนได้ 29. ฉันใช้จุดแข็งชดเชยจุดอ่อนทางการเรียนของฉัน 35. ในการแก้ปัญหาที่ครูสั่ง ฉันรู้ว่าวิธีการแก้ปัญหาที่ฉันใช้จะสำเร็จมากที่สุดเมื่อใด	
	2) การควบคุมการรู้คิด (Regulation of cognition) มี 5 ตัวบ่งชี้คือ 1. การวางแผน (planning)	4. ในขณะเรียน ฉันวางจังหวะการเรียนเรื่องต่าง ๆ ให้มีเวลามากพอไม่รีบร้อน 6. ก่อนลงมือทำงาน ฉันคิดก่อนว่าจะต้องรู้อะไรก่อนจึงจะทำสำเร็จ 8. ก่อนลงมือทำงาน ฉันจะตั้งเป้าหมายความสำเร็จ ไว้ก่อน 22. ก่อนทำงาน ฉันตั้งคำถามตัวเองก่อนว่าวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้มีอะไร ใช้อย่างไร 23. ในการแก้ปัญหาที่ครูสั่ง ฉันคิดหาวิธีหลาย ๆ วิธี แล้วเลือกวิธีที่ดีที่สุด	7

นิยามตัวแปร	ตัวบ่งชี้	ข้อคำถาม	จำนวนคำถาม (ข้อ)
	2. กลยุทธ์การจัดการข้อมูล (information management strategies)	42. ฉันอ่านคำสั่งอย่างละเอียดก่อนเริ่มทำงานที่ครูมอบหมาย 45. ฉันแบ่งเวลาทำงานเพื่อให้ทำงานให้ดีที่สุด 9. ฉันใช้เวลามากขึ้นเมื่อเจอข้อมูลบางอย่างที่สำคัญ 13. เมื่อเจอข้อมูลสำคัญ ฉันจะพิจารณาอย่างใจจดใจจ่อ 30. เมื่อเจอข้อมูลใหม่ ๆ ฉันจะใช้เวลาทำความเข้าใจว่ามันคืออะไร มีประโยชน์อะไร 31. ขณะอ่านหนังสือ ฉันพยายามคิดหาตัวอย่างที่เป็นของฉันเองเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น 37. ในระหว่างเรียน ฉันจด วาดภาพ หรือทำแผนผังของเนื้อหาเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น 39. ในการอ่านเรื่องใหม่ ฉันพยายามทำความเข้าใจเนื้อหาด้วยภาษาของฉันเอง 41. เวลาอ่านหนังสือ ฉันดูชื่อบท ชื่อตอนของหนังสือเพื่อช่วยให้เข้าใจมากขึ้น 43. ฉันถามตัวเองว่าสิ่งที่กำลังอ่านมีความเชื่อมโยงกับสิ่งที่ฉันรู้แล้วหรือไม่	10
	3. การกำกับความเข้าใจ	47. ในขณะเรียน ฉันพยายามทำความเข้าใจช้า ๆ ทีละขั้น	7

นิยามตัวแปร	ตัวบ่งชี้	ข้อคำถาม	จำนวนคำถาม (ข้อ)
	(comprehension monitoring)	48. ฉันพยายามเน้นทาความเข้าใจเรื่องราวอย่างกว้าง ๆ มากกว่ารายละเอียดเฉพาะๆ 1. ฉันถามตัวเองอยู่เสมอว่าทำงานเสร็จตามเป้าหมายหรือยัง 2. ในการแก้ไขปัญหาฉันคิดหาวิธีการหลาย ๆ 11. ในระหว่างทำงาน เมื่อมีทางเลือกหลายทางฉันถามตัวเองว่าจะเลือกทางไหนดี 21. ฉันชอบใช้เวลาทบทวนเรื่องราวต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น	
	4. กลยุทธ์การแก้ไขข้อผิดพลาด (debugging strategies)	28. ฉันประเมินข้อดีและข้อเสียของวิธีที่ฉันใช้เรียน 34. ในระหว่างเรียน ฉันหาเวลาทบทวนความรู้ความเข้าใจของฉัน 49. ในการเรียนเรื่องใหม่ ๆ ฉันถามตัวเองว่าเรียนได้ดีแค่ไหน 25. ฉันขอให้คนอื่นช่วย เมื่อไม่เข้าใจเรื่องที่เรียน 40. ในการพยายามแก้ปัญหา ฉันหาวิธีการใหม่ เมื่อวิธีการที่ฉันใช้ไม่สำเร็จ	5
	5. การประเมินความสำเร็จของงานและกลยุทธ์ที่ใช้ (evaluation)	44. ฉันคิดทบทวนกลับไปกลับมาเมื่ออ่านหนังสือไม่เข้าใจ	6

นิยามตัวแปร	ตัวบ่งชี้	ข้อคำถาม	จำนวนคำถาม (ข้อ)
		51. เมื่อพบเห็นข้อมูลที่ยังไม่ชัดเจน ฉันพยายามหยุด แล้วศึกษามันใหม่ 52. เมื่ออ่านหนังสือไม่เข้าใจ ฉันหยุดพัก แล้วอ่านใหม่ 7. ฉันรู้คุณภาพของงานที่ฉันทำเสร็จแล้ว 19. หลังจากทำงานเสร็จแล้วฉันถามตัวเองว่ามีวิธีการอื่นที่ง่ายกว่านี้อีกมั้ย 24. เมื่อทำงานเสร็จ ฉันจดสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการทำงานนั้น 36. เมื่อทำงานเสร็จ ฉันถามตัวเองว่างานที่ทำเสร็จบรรลุเป้าหมายหรือไม่ 38. ในการทำงาน ฉันถามตัวเองว่าได้ลองใช้วิธีการที่เป็นไปได้ครบถ้วนแล้วหรือยัง 50. เมื่อทำงานที่ครูสั่งเสร็จแล้วฉันถามตัวเองว่าฉันเกิดการเรียนรู้จากงานได้เท่ากับที่คาดหวังไว้หรือยัง	

ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับ

ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's α)

Unidimensional Reliability

Frequentist Scale Reliability Statistics

Estimate	Cronbach's α	Average interitem correlation	mean	sd
Point estimate	0.938	0.231	186.146	22.477
95% CI lower bound	0.926	0.196	183.216	20.578
95% CI upper bound	0.949	0.268	189.076	24.765

Frequentist Individual Item Reliability Statistics

	If item dropped			
Item	Cronbach's α	Item-rest correlation	mean	sd
Q1	0.938	0.407	3.996	0.862
Q2	0.937	0.465	3.602	0.778
Q3	0.938	0.276	3.987	0.803
Q4	0.938	0.370	3.208	0.798
Q5	0.937	0.447	3.544	0.984
Q6	0.937	0.513	3.690	0.900
Q7	0.937	0.489	3.912	0.767
Q8	0.937	0.510	3.885	0.882
Q9	0.937	0.427	4.137	0.768
Q10	0.937	0.507	3.633	0.762
Q11	0.937	0.424	4.018	0.822
Q12	0.937	0.492	3.456	0.929
Q13	0.937	0.577	3.956	0.788
Q14	0.936	0.586	3.354	0.879
Q15	0.937	0.441	4.018	0.766
Q16	0.938	0.403	3.540	0.864
Q17	0.937	0.497	2.858	0.810
Q18	0.937	0.510	3.496	0.812

Frequentist Individual Item Reliability Statistics

	If item dropped			
Item	**Cronbach's α**	**Item-rest correlation**	**mean**	**sd**
Q19	0.939	0.318	3.354	1.127
Q20	0.937	0.447	3.261	0.863
Q21	0.938	0.415	3.071	0.819
Q22	0.937	0.433	3.938	0.862
Q23	0.936	0.591	3.500	0.920
Q24	0.937	0.431	2.858	0.983
Q25	0.939	0.183	3.841	0.989
Q26	0.938	0.302	2.841	0.948
Q27	0.936	0.609	3.504	0.818
Q28	0.937	0.459	3.341	0.982
Q29	0.937	0.533	3.292	0.930
Q30	0.936	0.583	3.549	0.822
Q31	0.937	0.515	3.677	0.992
Q32	0.936	0.597	3.637	0.875
Q33	0.937	0.443	3.478	0.895
Q34	0.937	0.520	3.035	0.874
Q35	0.937	0.575	3.212	0.805
Q36	0.937	0.475	3.659	0.866
Q37	0.938	0.406	3.367	0.999
Q38	0.937	0.569	3.058	0.860
Q39	0.937	0.513	3.788	0.869
Q40	0.937	0.546	3.686	0.876
Q41	0.938	0.378	4.040	0.920
Q42	0.937	0.496	3.885	0.862
Q43	0.936	0.583	3.350	0.868

Frequentist Individual Item Reliability Statistics

	If item dropped			
Item	**Cronbach's α**	**Item-rest correlation**	**mean**	**sd**
Q44	0.937	0.480	3.907	0.872
Q45	0.938	0.348	3.429	0.969
Q46	0.937	0.433	4.327	0.711
Q47	0.937	0.497	3.942	0.806
Q48	0.938	0.335	3.593	0.876
Q49	0.937	0.488	3.496	0.881
Q50	0.937	0.526	3.221	0.940
Q51	0.937	0.515	3.681	0.902
Q52	0.938	0.325	4.040	1.017

ค่า Cronbach’s alpha ของแบบสอบถามแบบแยกหัวข้อ

Topics	**# of Q**	**Q items**	**Cronbach's α**
Declarative knowledge (DK)	8	5/10/12/16/17/20/32/46	0.744
Procedural knowledge (PK)	4	3/14/27/33	0.616
Conditional knowledge (CK)	5	15/18/26/29/35	0.618
Planning (P)	7	4/6/8/22/23/42/45	0.726
Information management strategies (IMS)	10	9/13/30/31/37/39/41/43/47/48	0.776
Monitoring (M)	7	1/2/11/21/28/34/49	0.679
Debugging strategies (DS)	5	25/40/44/51/52	0.529
Evaluation (E)	6	7/19/24/36/38/50	0.677

ภาคผนวก ง

หนังสือรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

รหัสโครงการ: REC 67.0122-009-0353

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแนวคิดกระบวนการและอภิปัญญา โดยใช้การเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นฐานรูปแบบ FAR เรื่อง เมแทบอลิซึม ของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ): Development of the Concept-Process Model and Metacognition via FAR Analogy-Based Learning Approach in the Topic of Metabolism among Second-Year Undergraduates.

ผู้วิจัยหลัก: อาจารย์ ดร.วิทวัส หาญดี **สังกัด:** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 22 มกราคม 2567
2. แบบเสนอโครงการวิจัยเพื่อการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (ฉบับภาษาไทย) เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 22 มกราคม 2567
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 22 มกราคม 2567
4. หนังสือแสดงเจตนายินยอมการเข้าร่วมการวิจัย เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 22 มกราคม 2567

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยยึดหลักเกณฑ์ตามคำประกาศ เฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) และมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมายข้อบังคับ และข้อกำหนดภายในประเทศ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ อัครมงคลพร)
ประธานกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

หมายเลขใบรับรอง COE 67.0122-005
วันที่รับรอง: 22 มกราคม พ.ศ. 2567

สำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์
6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
โทร 0-3425-5808 โทรสาร (Fax) : 0-3425-5808
email: humanethics@su.ac.th

ภาคผนวก จ

ผลการตรวจสอบข้อตกลงของการทดสอบสหสัมพันธ์

Assumption checks

Shapiro-Wilk Test for Multivariate Normality

Shapiro-Wilk	p
0.840	< .001

Shapiro-Wilk Test for Bivariate Normality

			Shapiro-Wilk	p
Betotal	-	Aftotal	0.953	< .001
Betotal	-	norm gain total	0.956	< .001
Betotal	-	DK	0.945	< .001
Betotal	-	PK	0.947	< .001
Betotal	-	CK	0.951	< .001
Betotal	-	P	0.946	< .001
Betotal	-	IMS	0.945	< .001
Betotal	-	M	0.947	< .001
Betotal	-	DS	0.943	< .001
Betotal	-	E	0.949	< .001
Betotal	-	McTotal	0.946	< .001
Aftotal	-	norm gain total	0.915	< .001
Aftotal	-	DK	0.971	0.006
Aftotal	-	PK	0.975	0.015
Aftotal	-	CK	0.955	< .001
Aftotal	-	P	0.989	0.372
Aftotal	-	IMS	0.973	0.010
Aftotal	-	M	0.955	< .001
Aftotal	-	DS	0.967	0.003
Aftotal	-	E	0.972	0.008
Aftotal	-	McTotal	0.961	< .001
norm gain total	-	DK	0.980	0.067

Shapiro-Wilk Test for Bivariate Normality

			Shapiro-Wilk	p
norm gain total	-	PK	0.986	0.261
norm gain total	-	CK	0.965	0.003
norm gain total	-	P	0.972	0.013
norm gain total	-	IMS	0.987	0.289
norm gain total	-	M	0.969	0.008
norm gain total	-	DS	0.982	0.116
norm gain total	-	E	0.982	0.117
norm gain total	-	McTotal	0.970	0.008
DK	-	PK	0.984	0.132
DK	-	CK	0.981	0.064
DK	-	P	0.971	0.006
DK	-	IMS	0.984	0.113
DK	-	M	0.994	0.857
DK	-	DS	0.993	0.761
DK	-	E	0.964	0.001
DK	-	McTotal	0.983	0.084
PK	-	CK	0.976	0.019
PK	-	P	0.958	< .001
PK	-	IMS	0.984	0.106
PK	-	M	0.971	0.006
PK	-	DS	0.988	0.304
PK	-	E	0.975	0.013
PK	-	McTotal	0.973	0.009
CK	-	P	0.979	0.033
CK	-	IMS	0.977	0.025
CK	-	M	0.992	0.698
CK	-	DS	0.986	0.193

Shapiro-Wilk Test for Bivariate Normality

			Shapiro-Wilk	p
CK	-	E	0.990	0.444
CK	-	McTotal	0.983	0.093
P	-	IMS	0.954	< .001
P	-	M	0.984	0.122
P	-	DS	0.986	0.175
P	-	E	0.991	0.590
P	-	McTotal	0.972	0.008
IMS	-	M	0.987	0.218
IMS	-	DS	0.988	0.308
IMS	-	E	0.958	< .001
IMS	-	McTotal	0.976	0.019
M	-	DS	0.995	0.918
M	-	E	0.971	0.006
M	-	McTotal	0.976	0.018
DS	-	E	0.988	0.317
DS	-	McTotal	0.994	0.859
E	-	McTotal	0.972	0.007

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิทวัส หาญดี
วัน เดือน ปี เกิด	28 ตุลาคม 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	Ph.D. (Cell and Molecular Biology) Michigan State University 2016 M.S. (Cell and Molecular Biology) Michigan State University 2015 วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยศิลปากร 2551
สถานที่ทำงาน	มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต พระราชวังสนามจันทร์ อ.เมือง จ.นครปฐม
ตำแหน่ง	อาจารย์ ดร.

มหาวิทยาลัย
ศิลปากร