ผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลอง
และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

นางสาวหนึ่งฤทัย เกียรติพิมล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF USING REPRESENTATION CONSTRUCTION APPROACH ON MODELING ABILITY AND LEARNING ACHIEVEMENT IN BIOLOGY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

Miss Nungruthai Kiatphimon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education Program in Science Education
Department of Curriculum and Instruction
Faculty of Education
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
โดย	นางสาวหนึ่งฤทัย เกียรติพิมล
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รสริน พลวัฒน์

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะครุศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิศวธีรานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รสริน พลวัฒน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สกลรัชต์ แก้วดี)

หนึ่งฤทัย เกียรติพิมล : ผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (EFFECTS OF USING REPRESENTATION CONSTRUCTION APPROACH ON MODELING ABILITY AND LEARNING ACHIEVEMENT IN BIOLOGY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.รสริน พลวัฒน์, 167 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น ที่มีวัตถุประสงค์ในการวิจัย คือ 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด และ 2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 27 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ 1) แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินเท่ากับ 0.89 และ 2) แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่มีความเที่ยงเท่ากับ 0.87 ค่าความยากอยู่ในช่วง 0.25-0.80 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.20-0.65 และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 80.18 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และ 2) นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 70.49 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 80 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	หลักสูตรและการสอน	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5783454027 : MAJOR SCIENCE EDUCATION
KEYWORDS: REPRESENTATION CONSTRUCTION APPROACH / MODELING ABILITY / BIOLOGY LEARNING ACHIEVEMENT

NUNGRUTHAI KIATPHIMON: EFFECTS OF USING REPRESENTATION CONSTRUCTION APPROACH ON MODELING ABILITY AND LEARNING ACHIEVEMENT IN BIOLOGY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS. ADVISOR: PORNTHEP CHANTRAUKRIT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF.ROSSARIN POLLAWATN, Dr.rer.nat., 167 pp.

This study was a pre-experimental research. The purposes of this study were to 1) study the modeling ability of upper secondary school students who learned through the representation construction approach, and 2) study the biology learning achievement of upper secondary school students who learned through representation construction approach. The target group were 27 grade 12^{th} students of an extra-large sized school in Bangkok who studied in first semester of the academic year 2016. The research instruments were 1) the scientific modeling ability evaluation form with rater agreement index at 0.89, and 2) the biology learning achievement test with reliability at 0.87, the level of difficulty between 0.25-0.80, and the level of discrimination between 0.20-0.65. The collected data were analyzed by arithmetic mean, mean of percentage and standard deviation.

The research findings were summarized as follows: 1) The modeling ability of the students who learned through the representation construction approach was rated good level at the percentage of 80.18 with were higher than criterion set at percentage of 70 and 2) The biology learning achievement of the students who learned through the representation construction approach was rated good level at the percentage of 74.50 with were lower than criterion set at percentage of 80.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Curriculum and Instruction	Student's Signature .....
Field of Study:	Science Education	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2016	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รสริน พลวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้การอบรม สั่งสอน เป็นแบบอย่างให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านข้าพเจ้ารู้สึกตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีที่ได้รับจึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้ง 2 ท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิศวธีรานนท์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สกลรัชต์ แก้วดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น ตลอดจนคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและครูในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์โรงเรียนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ตลอดจนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในสาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และสมาชิกในครอบครัวที่ให้ความรัก ความห่วงใย พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษา และสนับสนุบข้าพเจ้าในทุกด้าน

สุดท้ายนี้ ในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ข้าพเจ้าได้รับทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญแผนภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย 1

คำถามวิจัย 4

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

สมมุติฐานของงานวิจัย 4

ขอบเขตการวิจัย 5

นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

1. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 9

1.1 ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 9

1.2 ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 10

1.3 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองทางชีววิทยา 11

1.4 ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 18

1.5 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 19

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 32

2.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.2 องค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ 33
2.3 แนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ 40
3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 42
3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 42
3.2 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 43
3.3 หลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดสำหรับการสอนและการเรียนรู้ ... 44
3.4 ตัวอย่างการสอนตามหลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 46
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 51
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 53
1. รูปแบบของการวิจัย 53
2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย 53
2.1 การเลือกโรงเรียน 54
2.2 การเลือกกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย 55
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 56
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล 57
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 65
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล 69
4.1 ขั้นเตรียมนักเรียนก่อนการทดลอง 70
4.2 ขั้นการดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง 70
4.3 ขั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง 71
5. การวิเคราะห์ข้อมูล 71
5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา 71
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 72
ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 72
ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 81
สรุปผลการวิจัย 81
อภิปรายผลการวิจัย 82
ข้อเสนอแนะ 87
รายการอ้างอิง 90
ภาคผนวก 97
ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย 98
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล 101
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 119
ภาคผนวก ง คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล 143
ภาคผนวก จ ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 159
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลเพิ่มเติมของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย 162
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 167

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ประเภทและตัวอย่างของแบบจำลองทางชีววิทยา 16

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความรู้ในการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมาน..... 21

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองสำหรับนักเรียนในระดับต่าง ๆ.. 23

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากงานวิจัยต่าง ๆ..... 26

ตารางที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์ที่ใช้ประเมินแบบจำลองเชิงภาษาและเชิงภาพ 28

ตารางที่ 6 เกณฑ์ในการประเมินกระบวนการสร้างและใช้แบบจำลอง 29

ตารางที่ 7 เกณฑ์ในการประเมินกระบวนการปรับปรุงแบบจำลอง 30

ตารางที่ 8 แสดงองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากเอกสารที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ..... 39

ตารางที่ 9 ช่วงคะแนนและระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง 58

ตารางที่ 10 จำนวนข้อของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยาตามเนื้อหาและพฤติกรรมการเรียนรู้ .. 61

ตารางที่ 11 ช่วงคะแนนและระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา 62

ตารางที่ 12 ลำดับหัวข้อและจำนวนคาบเรียนจากแผนการจัดการเรียนรู้ 66

ตารางที่ 13 ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ 68

ตารางที่ 14 ข้อบกพร่องจากการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ และแนวทางปรับแก้ไข..... 69

ตารางที่ 15 คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ร้อยละของคะแนนรวม และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนกลุ่มต่าง ๆ 73

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากเนื้อหาเรื่องต่าง ๆ 74

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามพฤติกรรมการเรียนรู้..... 79

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามเนื้อหา..... 80

ตารางที่ 19 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 103

ตารางที่ 20 ค่าความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างรายการประเมินและเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ..... 150

ตารางที่ 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ที่ต้องการวัด ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้และข้อคำถามในแบบสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ชีววิทยา..... 154

ตารางที่ 22 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ..... 157

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบจำลองของนักเรียนจากงานวิจัยของ Bamberger and Davis..... 29

แผนภาพที่ 2 องค์ประกอบของสัญศาสตร์ตามแนวคิดของ Peirce 43

แผนภาพที่ 3 รูปแบบการวิจัยแบบ One group posttest only design..... 53

แผนภาพที่ 4 แผนผังห้องเรียนที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ชีววิทยา 55

แผนภาพที่ 5 ตัวอย่างแบบจำลองเรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ..... 76

แผนภาพที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองเรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการของมนุษย์ของนักเรียน..... 77

แผนภาพที่ 7 ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการจัดการเรียนรู้..... 85

แผนภาพที่ 8 ข้อมูลย้อนกลับจากนักเรียนเลขที่ 27..... 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และอุตสาหกรรม อีกทั้งเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยยกระดับมาตรฐานความเป็นอยู่ของประชาชนให้สูงขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2545) โดยเป้าหมายที่สำคัญของวิทยาศาสตร์ คือ การทำความเข้าเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Schweingruber, Keller, & Quinn, 2012) อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ทางธรรมชาติบางอย่างไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง หรือมีความซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ (Bryce et al., 2016) นักวิทยาศาสตร์จึงต้องอาศัยกระบวนการแปลความหมายข้อมูล จากแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ที่ต้องการศึกษา เมื่อพิจารณาถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาชีววิทยา ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตที่มีเนื้อหาหลากหลาย ครอบคลุมตั้งแต่ระดับเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าไปจนถึงระดับใหญ่ที่สังเกตได้ยาก หรือมีความแตกต่างเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา ตั้งแต่ระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การศึกษาการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย ไปจนถึงระยะเวลาที่ยาวนาน เช่น การศึกษาเรื่องวิวัฒนาการ เป็นต้น ทำให้การศึกษาในชีววิทยาต้องอาศัยการแปลความหมายผ่านการสร้างแบบจำลองที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองเชิงรูปธรรม แบบจำลองเชิงนามธรรม แบบจำลองในลักษณะ 2 มิติ และแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (Eilam, 2013) ตัวอย่างของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สัมพันธ์กับการเรียนรู้ชีววิทยา เช่น แบบจำลองสายใยอาหาร ตารางพันเนตต์ ซึ่งเป็นแผนภาพที่ใช้ช่วยทำนายผลที่ได้จากการทดลองการผสมพันธุ์ แบบจำลองลักษณะของดีเอ็นเอที่มีลักษณะพันเป็นเกลียวคู่ และแบบจำลองการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ (Schademan, 2014; Schwarz et al., 2009) เป็นต้น แบบจำลองจึงถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการช่วยทำความเข้าใจ อธิบาย ทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และช่วยสื่อสารแนวคิดหรือความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และทางชีววิทยาไปยังบุคคลอื่น (National Research Council, 2011; Nicolaou & Constantinou, 2014)

ด้านการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ เป้าหมายหลักของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือ การพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ของนักเรียน ซึ่งองค์ประกอบหนึ่งของการรู้วิทยาศาสตร์ คือ ความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ที่มีความสัมพันธ์กับแบบจำลอง (Halverson & Friedrichsen, 2013) และการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันของหลายประเทศให้ความสำคัญกับการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific practice/practical work in science) (Schweingruber

et al., 2012) เช่น มาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศอเมริกา หรือ Next Generation Science Standards (NGSS) เน้นการสอนวิทยาศาสตร์ไปที่การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Practices of science and engineering) โดยการปฏิบัติหนึ่งที่ NGSS ให้ความสำคัญ คือ การพัฒนาและใช้แบบจำลอง (Developing and using models) อันเป็นสิ่งที่สะท้อนการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ สำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยระบุให้ “การสร้างแบบจำลอง” เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ ดังปรากฏในตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในสาระที่ 8 คือ การสร้างแบบจำลอง หรือรูปแบบที่อธิบายผลหรือแสดงผลของการสำรวจตรวจสอบ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และการสร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับหรือคาดการณ์สิ่งที่จะค้นพบหรือสร้างแบบจำลอง เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2552) นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Schwarz et al. (2009) ได้ระบุประโยชน์ของความสามารถในการสร้างแบบจำลองไว้ว่า ความสามารถในการสร้างแบบจำลองช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจบทเรียนผ่านการสร้างมโนภาพ ซึ่งเอื้อต่อการสื่อสารและอธิบายความเข้าใจไปยังบุคคลอื่นได้

แม้ว่าแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองมีความสำคัญต่อการเรียนวิทยาศาสตร์และชีววิทยา อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากการประเมินผลการศึกษาของประเทศสมาชิกองค์การเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organization for Economic Co-operation and Development หรือ OECD) โครงการ Programme for International Student Assessment หรือ PISA ซึ่งกำหนดกรอบโครงสร้างการประเมินการรู้วิทยาศาสตร์ของ PISA ปี ค.ศ. 2015 ไว้ส่วนหนึ่งว่า เกี่ยวกับสมรรถนะทางด้านการอธิบายในเชิงวิทยาศาสตร์ในการระบุ การใช้ และการสร้างคำอธิบายด้วยแบบจำลองและตัวแทนความคิด พบว่านักเรียนมีผลคะแนนการประเมิน คือ คะแนนเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 เป็น 421 คะแนน (OECD, 2016) ถือว่าต่ำกว่าคะแนนมาตรฐานที่ 500 คะแนน และต่ำกว่าคะแนนมาตรฐานเฉลี่ยนานาชาติ รวมถึงจากการสังเกตในระหว่างการจัดการเรียนรู้ที่สืบเนื่องมาจากการปฏิบัติการสอนรายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม ภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 ของปีการศึกษา 2558 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง พบว่านักเรียนมีปัญหาเกี่ยวกับการสร้างมโนภาพ (Visualization) ในเนื้อหาชีววิทยาเรื่อง การส่งสัญญาณกระแสประสาท และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือเนื้อหาอื่น ๆ ที่มีกระบวนการซับซ้อน โดยมโนภาพเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นควบคู่กับการสร้างแบบจำลอง และสัมพันธ์กับแบบจำลองทางความคิดที่เป็นการนำเสนอภาพที่เกิดขึ้นในสมองจากการแปลความหมายของข้อมูล (Martínez-Solano, 2016)

จากที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงควรส่งเสริมหรือพัฒนาความสามารถในสร้างแบบจำลองของนักเรียน เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างมโนภาพสะท้อนความเข้าใจบทเรียน และอธิบายความเข้าใจไปยังบุคคลอื่น อันจะนำไปสู่การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งจากการศึกษาแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่นำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน กลยุทธ์การเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิด รวมถึงการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ซึ่งเป็นแนวการสอนที่พัฒนามาจากงานวิจัยของ Recent Australian Research (ARC) ในประเด็นของตัวแทนความคิดในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์หรือ Representations in Learning Science (IRIS 2007-2010) และโครงการ Creating Representation in Science Pedagogy (CRISP 2012-2015) ที่ประสบความสำเร็จในการทดลองและพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสืบสอบเป็นฐานผ่านการกระตุ้นให้นักเรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยการฝึกปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ หรือที่เรียกว่า “แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด” (Representation construction approach) (Tytler, Prain, Hubber, & Waldrip, 2013) แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดประกอบด้วยหลักการที่ช่วยสนับสนุนแนวการสร้างตัวแทนความคิด 4 ข้อ ได้แก่ 1) การลำดับตัวแทนความคิด (Teaching sequences are based on sequences of representation) 2) การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน (Representations are explicitly discussed) 3) การเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning) และ 4) การประเมินผ่านตัวแทนความคิด (Assessment through representation) ซึ่งเน้นไปที่การกระตุ้นให้นักเรียนลงมือสร้างตัวแทนความคิดและร่วมกันอภิปรายตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น อันจะนำไปสู่การสำรวจค้นหาและสร้างข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปรากฏการณ์ และการปรับปรุงตัวแทนความคิดให้สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของตัวแทนความคิด รวมถึงนำไปสู่สมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวแทนความคิดซึ่งมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการสร้างแบบจำลองอย่างใกล้ชิด (Tytler, Hubber, Prain, & Waldrip, 2013)

ผลจากการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ แสดงให้เห็นถึงผลสำเร็จในการรู้ของนักเรียน ในรูปแบบของการเพิ่มแนวคิดที่คงทนของนักเรียน เพิ่มคุณภาพของการเรียนรู้ และสำหรับครูในการเพิ่มความรู้เกี่ยวกับศาสตร์การสอน (Pedagogical knowledge) (Hubber, 2010) ดังผลการวิจัยของ Hubber (2010) ที่ทำการจัดการเรียนการสอนตามแนวการสร้างตัวแทนความคิดในวิชาดาราศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับเกรด 8 ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับบริบทเนื้อหาทางดาราศาสตร์ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งมีการพัฒนาการสร้างตัวแทนความคิดที่เพิ่มขึ้นด้วยการสร้างตัวแทนความคิดได้หลากหลายวิธีการเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องแรง ในบริบทวิชาฟิสิกส์ของ

นักเรียนเกรด 7 คือ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (Hubber, Tytler, & Haslam, 2010)

จากแนวคิด และงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยา อันเป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และการเรียนรู้ชีววิทยาที่ดี

คำถามวิจัย

1. นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับใด

2. นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาอยู่ในระดับใด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมุติฐานของงานวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดช่วยพัฒนาตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Tytler, Prain, et al., 2013) และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ดังผลวิจัยของ Hubber (2010) ที่จัดการเรียนการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในวิชาดาราศาสตร์สำหรับนักเรียนเกรด 8 พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับบริบทเนื้อหาทางดาราศาสตร์ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งมีการพัฒนาการสร้างตัวแทนความคิดที่เพิ่มขึ้นด้วยการสร้างตัวแทนความคิดได้หลากหลายวิธีการเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการจัดการเรียนรู้ และงานวิจัยเรื่องแรงในวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนเกรด 7 ที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียน (Hubber et al., 2010)

จากการศึกษาเอกสารและผลการวิจัยดังกล่าว จึงนำมาสู่สมมุติฐานของงานวิจัย ดังนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 70 ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

สมมติฐานข้อที่ 2 นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาอยู่ในระดับดีเยี่ยม คือ ร้อยละ 80 ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ขอบเขตการวิจัย

1. กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง เขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

2. ตัวแปรในการวิจัย ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรจัดกระทำ คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

2.2 ตัวแปรตาม คือ

2.2.1 ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

3. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

4. ระยะเวลาที่ใช้การวิจัยครั้งนี้ คือ ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ 7 สัปดาห์ จำนวนทั้งหมด 20 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที

5. พื้นที่ศึกษา คือ โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ เขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการสร้างความหมายในการอธิบายและการทำนายปรากฏการณ์ รวมถึงการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1.1 รูปแบบเชิงรูปธรรมหรือเชิงวัตถุ เป็นแบบจำลองที่เป็นลักษณะ 3 มิติ มีความคงทนและสามารถจับต้องได้

1.2 รูปแบบเชิงภาษา เป็นแบบจำลองที่เป็นคำอธิบายของลักษณะประกอบด้วยการพูด การเขียน และการเทียบร่วม

1.3 รูปแบบเชิงสัญลักษณ์ เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยการใช้สูตร สัญลักษณ์ และสมการ

1.4 รูปแบบเชิงภาพ เป็นแบบจำลองในเชิง 2 มิติที่ประกอบด้วยกราฟ แผนภาพ และภาพวาด

1.5 รูปแบบเชิงท่าทาง เป็นแบบจำลองที่ใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายประกอบการแสดงออก

2. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถที่ประกอบด้วย 4 ความสามารถย่อย ได้แก่ ความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ความสามารถในการใช้แบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง และการปรับปรุงแบบจำลอง ซึ่งวัดได้จากแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา หมายถึง พฤติกรรมทางการเรียนอันพึงประสงค์หรือความรู้ความสามารถที่ได้จากกระบวนการเรียนการสอนซึ่งวัดได้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่ลักษณะเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยพิจารณาพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบ 4 ประการ คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้

4. แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนลงมือสร้างตัวแทนความคิดและร่วมกันอภิปรายตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น โดยประกอบด้วย 4 หลักการที่สำคัญ ดังนี้

4.1 การลำดับตัวแทนความคิด หมายถึง การที่นักเรียนสร้างตัวแทนความคิดเพื่อสำรวจและค้นหา และสร้างข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปรากฏการณ์ ประกอบด้วยหลักการย่อย คือ ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก ตัวแทนความคิดที่ต้องการสร้าง และตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างและตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์

4.2 การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน หมายถึง การอภิปรายร่วมกันในห้องเรียน เพื่อให้นักเรียนช่วยกันวิจารณ์และสนับสนุนตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยหลักการย่อย คือ การเลือกวัตถุประสงค์ของตัวแทนความคิด การลงความเห็นกลุ่มเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น รูปแบบและหน้าที่ และความเพียงพอของตัวแทนความคิด

4.3 การเรียนรู้อย่างมีความหมาย หมายถึง การที่ตัวแทนความคิดมีบริบทจากประสบการณ์ การคำนึงถึงความสนใจของนักเรียน และสนับสนุนการเป็นตัวแทน ประกอบด้วยหลักการย่อย คือ บริบทการรับรู้และการกระตุ้นความสนใจและการเป็นตัวแทน

4.4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิด หมายถึง การที่ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินตัวแทนความคิดในส่วนของความเพียงพอของตัวแทนความคิดที่ใช้สำหรับการอธิบาย

5. นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย หมายถึง มัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่มัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา โดยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา และการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ซึ่งมีรายละเอียดการศึกษาในแต่ละหัวข้อตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
    - 1.1 ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
    - 1.2 ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
    - 1.3 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองทางชีววิทยา
    - 1.4 ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
    - 1.5 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
    - 1.6 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
    - 2.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
    - 2.2 องค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
    - 2.3 แนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด
    - 3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด
    - 3.2 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด
    - 3.3 หลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด
    - 3.4 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ในงานวิจัยนี้แบ่งประเด็นการนำเสนอเป็น 5 ประเด็น ได้แก่ 1) ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 2) ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 3) ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองทางชีววิทยา 4) ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 5) องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ 6) แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การสร้างและพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เป็นลักษณะสำคัญของการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และเป็นเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Schweingruber et al., 2012) อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ทางธรรมชาติบางอย่างไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง หรืออาจมีความซับซ้อนต่อการทำความเข้าใจ (Bryce et al., 2016) นักวิทยาศาสตร์จึงอาศัยกระบวนการแปลความหมายข้อมูล ผ่านการสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อนำมาสู่การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Gilbert & Ireton, 2003; Tytler, Prain, et al., 2013) ลักษณะของแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้ประกอบด้วย 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) แบบจำลองที่ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของโลก แบบจำลองในลักษณะนี้จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสมมติฐานผ่านวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และ 2) แบบจำลองที่ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการสื่อสารและอธิบายสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบไปยังบุคคลอื่น ช่วยทำให้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เผยแพร่ออกไป (Bryce et al., 2016) แบบจำลองจึงเป็นผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนและเปรียบเสมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่างทฤษฎีที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Prins, Bulte, Van Driel, & Pilot, 2009)

สำหรับการจัดการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ นักการศึกษามุ่งเน้นให้กิจกรรมในห้องเรียนสะท้อนกับการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และนำการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน (Bryce et al., 2016; Krajcik & Merritt, 2012) โดย Schwarz et al. (2009) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการนำแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ว่า 1) แบบจำลองเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน 2) แบบจำลอง

ช่วยทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถสื่อสารความเข้าใจไปยังบุคคลอื่นได้ และ 3) แบบจำลองช่วยให้นักเรียนเข้าใจในเนื้อหา วิธีการ และการปฏิบัติอย่างนักวิทยาศาสตร์ แบบจำลองที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้จะเกิดประสิทธิภาพ เมื่อนำมาใช้กับกระบวนการหรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถสังเกตเห็นได้และไม่สามารถสังเกตเห็น ได้แก่ การนำแบบจำลองมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ผ่านมายาวนานในอดีต เช่น เรื่องของวิวัฒนาการ และการแยกตัวของทวีปในอดีต (Continental drift) ตลอดจนบทเรียนที่มีรายละเอียดของเนื้อหาที่มากและมีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น (Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008) และนอกจากนี้ Bryce et al. (2016) ได้ระบุถึงการนำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนรู้ชีววิทยาว่า “แบบจำลองทางชีววิทยามีความสำคัญต่อการแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาชีววิทยาของนักเรียน โดยแบบจำลองทางชีววิทยานำมาใช้สำหรับการอธิบายสิ่งที่ได้จากการสังเกตปรากฏการณ์” ตัวอย่างของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในทางชีววิทยา เช่น แบบจำลองสายใยอาหาร ตารางพันเนตต์ ซึ่งเป็นแผนภาพที่ใช้ช่วยทำนายผลจากการทดลองการผสมพันธุ์ แบบจำลองลักษณะของดีเอ็นเอที่มีลักษณะพันเป็นเกลียวคู่ และแบบจำลองการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น (Schademan, 2014; Schwarz et al., 2009)

โดยสรุปแล้ว แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดความเข้าใจ นำไปสู่การอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ที่มีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น (Lehrer, Schauble, & Glaser, 2000) ส่วนการสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการที่นำไปสู่การอธิบายความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ รวมถึงถ่ายทอดความเข้าใจโดยการสื่อสารแนวคิดออกมาผ่านแบบจำลอง อันเป็นเป้าหมายสำคัญสำหรับการศึกษาและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ (Nicolaou & Constantinou, 2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีนักวิชาการ และนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ให้ความหมายของแบบจำลองในบริบทของวิทยาศาสตร์ ดังนี้

Lehrer et al. (2000) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำหรับการแสดงเหตุผลหรือข้อโต้แย้ง เพื่อใช้อธิบายและสื่อสารปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

Cartier, Rudolph, and Stewart (2001) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นกลุ่มของแนวคิดที่ใช้สำหรับอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์

ทางธรรมชาติ โดยแบบจำลองอาจเป็นผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์หรือเป็นสิ่งที่ช่วยสนับสนุนการศึกษาวิจัยในอนาคต

Windschitl et al. (2008) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งแทนโครงสร้างทางทฤษฎีที่สะท้อนกระบวนการและความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับประเด็นทางวิทยาศาสตร์

Schwarz et al. (2009) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนความคิดเชิงนามธรรมของวัตถุ ระบบ หรือปรากฏการณ์ ซึ่งได้รับการจัดกระทำให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายขึ้น โดยแบบจำลองมีลักษณะสำคัญ คือ การอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

Hoskinson, Couch, Zwickl, Hinko, and Caballero (2014) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการสร้างความหมาย ช่วยให้ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและสิ่งที่เป็นอุดมคติมีความสัมพันธ์กันและอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นำมาใช้สำหรับอธิบายปรากฏการณ์ กระบวนการหรือการดำเนินการ และทำนายเหตุและผล

Bryce et al. (2016) ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนความคิดที่ได้รับการจัดกระทำให้ง่ายขึ้นจากระบบที่มีความซับซ้อน เพื่อให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจองค์ความรู้ที่ได้มาและใช้สำหรับการสื่อสาร

จากการศึกษาความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ตัวแทนความคิดที่ได้รับการจัดกระทำให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เพื่อเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการสร้างความหมาย การอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ รวมถึงการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์

1.3 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองทางชีววิทยา

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองทางชีววิทยามีการจำแนกประเภทที่เหมือนหรือคล้ายคลึงกัน แต่นำไปใช้ในบริบทเนื้อหาที่มีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดของการจำแนกประเภท ดังนี้

1.3.1 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่านักวิชาการและนักการศึกษาวิทยาศาสตร์จำแนกประเภทของแบบจำลองโดยการพิจารณาจากเกณฑ์การจัดจำแนกที่แตกต่างกัน ดังนี้

Harrison and Treagust (2000) จำแนกประเภทของแบบจำลองจากวัตถุประสงค์และหน้าที่ของแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ 1) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองที่ใช้ในการสอน (Scientific and teaching models) 2) แบบจำลองที่บรรยายมโนทัศน์และกระบวนการ (Models depicting multiple concepts and/or process) และ 3) แบบจำลองส่วนบุคคลของความเป็นจริง ทฤษฎี และกระบวนการ (Personal models of reality, theories and processes) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบจำลองที่ใช้ในการสอน (Scientific and teaching models) แบ่งเป็น 5 ประเภทย่อย ดังนี้

1.1) แบบจำลองเชิงมาตราส่วน (Scale models) เป็นแบบจำลองมาตราส่วนนำมาใช้การบรรยายสี รูปร่างและโครงสร้างภายนอกของวัตถุ เช่น แบบจำลองสัตว์ พืช รถ เรือ และสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

1.2) แบบจำลองเชิงเทียบร่วมทางการสอน (Pedagogical analogical models) เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้ในการสอนและการเรียนรู้ โดยอาจรวมถึงแบบจำลองเชิงมาตราส่วน แบบจำลองประเภทนี้นำมาใช้สำหรับอธิบายสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตได้ เช่น แบบจำลองโมเลกุลโดยใช้ลูกบอลแทนอะตอม และใช้ไม้ยึดติดกับลูกบอลแทนพันธะ เป็นต้น

1.3) แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ (Iconic and symbolic models) เป็นสูตรหรือสมการ ซึ่งมักใช้เพื่ออธิบายและสื่อความหมายในทางเคมี เช่น การใช้สัญลักษณ์ CO_2 หรือ OCO แทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

1.4) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical models) เป็นการแสดงสมการทางคณิตศาสตร์และกราฟ ซึ่งช่วยแสดงความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ เช่น F = ma เป็นต้น

1.5) แบบจำลองเชิงทฤษฎี (Theoretical models) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานของทฤษฎี เช่น ทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊ส เป็นต้น

2) แบบจำลองบรรยายมโนทัศน์และ/หรือกระบวนการ (Models depicting multiple concepts and/or process) แบ่งเป็น 3 ประเภทย่อย ดังนี้

2.1) แผนที่ แผนภาพ และตาราง (Maps, diagrams and tables) เป็นแบบจำลองที่แสดงรูปแบบ วิถี และความสัมพันธ์ที่ง่ายต่อการเข้าใจและการสร้างมโนภาพของนักเรียน เช่น ตารางธาตุ แผนภาพต้นไม้ และโซ่และสายใยอาหาร เป็นต้น

2.2) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์-กระบวนการ (Concept-process models) เนื่องจากมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มักจะเป็นกระบวนการและเป็นสิ่งที่อธิบายได้ยาก แบบจำลองประเภทนี้นำมาใช้สำหรับการอธิบายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น การอธิบายกระบวนการโดยใช้แบบจำลองที่หลากหลายเรื่อง กรดและเบส ปฏิกิริยารีดอกซ์ และสมดุลเคมี เป็นต้น

2.3) สถานการณ์จำลอง (Simulations) เป็นแบบจำลองที่แสดงกระบวนการเกี่ยวกับเคลื่อนไหวที่ซับซ้อน มักเป็นการจำลองเสมือนจริงโดยอาศัยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ เช่น การจำลองการบินของเครื่องบิน การเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน และปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น

3) แบบจำลองส่วนบุคคลของความเป็นจริง ทฤษฎี และกระบวนการ (Personal models of reality, theories and processes) แบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ดังนี้

3.1) แบบจำลองทางความคิด (Mental models) เป็นแบบจำลองส่วนบุคคลที่สร้างจากกระบวนการทางปัญญา โดยแบบจำลองทางความคิดมีความสัมพันธ์กับการช่วยจินตนาการภาพในการสร้างแบบจำลอง

3.2) แบบจำลองเชิงสังเคราะห์ (Synthetic models) เป็นแบบจำลองที่นักเรียนสังเคราะห์ขึ้นจากการรับรู้ของตนเองและจากการสอนด้วยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของครู แบบจำลองเชิงสังเคราะห์จึงเป็นผลลัพธ์หรือผลิตภัณฑ์จากบทเรียนทางวิทยาศาสตร์ เช่น นักเรียนเรียนเกี่ยวกับอะตอมผ่านแบบจำลองต่าง ๆ และเชื่อว่า ชั้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron shells) ช่วยปกป้องโครงสร้างภายในเปรียบเสมือนเปลือกไข่หรือเปลือกหอย เป็นต้น

Gilbert (2004) จำแนกประเภทของแบบจำลองจากวิธีการของตัวแทนความคิด (Mode of representations) โดยแบ่งแบบจำลองเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) แบบจำลองเชิงรูปธรรมหรือเชิงวัตถุ (Concrete or material models) เป็นแบบจำลองที่เป็นลักษณะ 3 มิติ และเป็นวัตถุที่มีความคงทน เช่น แบบจำลองโครงสร้างผลึกของเหล็ก แบบจำลองระบบหมุนเวียนเลือด และแบบจำลองเครื่องบิน เป็นต้น

2) แบบจำลองเชิงภาษา (Verbal models) เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยคำอธิบายของลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนความคิด ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของการพูดหรือการเขียน แบบจำลองในรูปแบบนี้มักจะมีการใช้การอุปมาอุปไมย (Metaphors) และการเทียบร่วม (Analogies) ร่วมด้วย ตัวอย่างของแบบจำลอง เช่น การอธิบายว่าพันธะโควาเลนต์เป็นการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน เป็นต้น

3) แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์หรือเชิงคณิตศาสตร์ (Symbolic or mathematical models) เป็นแบบจำลองที่ประกอบไปด้วยสูตร สัญลักษณ์ และสมการ เช่น กฎของแก๊สในอุดมคติ และกฎอัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

4) แบบจำลองเชิงภาพ (Visual models) เป็นแบบจำลองในเชิง 2 มิติ ประกอบไปด้วย กราฟ แผนภาพ และแอนิเมชัน เช่น แผนผังแสดงโครงสร้างทางเคมี เป็นต้น

5) แบบจำลองเชิงท่าทาง (Gestural models) เป็นแบบจำลองที่มีการใช้ร่างกายหรือส่วนของร่างกาย เช่น การใช้ร่างกายแสดงการเคลื่อนที่ของไอออนในระหว่างเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส เป็นต้น

Nicolaou and Constantinou (2014) จำแนกประเภทของแบบจำลองเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) แบบจำลองทางความคิด (Mental models) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากกระบวนการทางปัญญา เมื่อบุคคลได้รับประสบการณ์จากสถานการณ์ใหม่แบบจำลองประเภทนี้จะได้รับการปรับเปลี่ยนโดยการพิจารณาสถานการณ์เดิมกับสถานการณ์หรือกระบวนการใหม่

2) แบบจำลองทางมโนทัศน์ (Conceptual models) เป็นแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์กับการพัฒนามโนทัศน์และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับ แบบจำลองประเภทนี้สร้างขึ้นในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อแสดงถึงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ และนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์และสร้างคำทำนาย

3) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific models) เป็นแบบจำลองที่เกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นตัวแทนความคิดที่ได้รับการแปลความหมาย มักจะอยู่ในรูปแบบของสัญลักษณ์ และเป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาความรู้หรือการทดสอบทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

Jong, Chiu, and Chung (2015) จำแนกประเภทของแบบจำลองตามลักษณะของการเรียนรู้ โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific models) กล่าวถึงแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์ใช้สำหรับการอธิบาย

2) แบบจำลองทางความคิด (Mental models) เป็นคำอธิบายของนักเรียนในปรากฏการณ์ที่มีความเฉพาะเจาะจง

3) แบบจำลองที่แสดงออก (Express models) ประกอบไปด้วยแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual models) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models)

1.3.2 ประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยา

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่ใช้ในวิชาชีววิทยา พบว่ามีการจำแนกประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยา ดังนี้

Bryce et al. (2016) แบ่งแบบจำลองทางชีววิทยาออกเป็น 3 ประเภทตามการวิจัยทางด้านชีววิทยา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) แบบจำลองเชิงกายภาพ (Concrete models) ได้แก่ ตัวแทนความคิดในลักษณะ 3 มิติ เช่น แบบจำลองดีเอ็นเอของ Watson และ Crick เป็นต้น

2) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual models) ได้แก่ การสื่อสารเชิงภาษาหรือภาพ เช่น แผนภาพดีเอ็นเอ และการควบคุมการแสดงออกของยีนภายในเซลล์ เป็นต้น

3) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical models) ได้แก่ แบบจำลองที่แสดงสัญลักษณ์หรือกราฟ เช่น กราฟแสดงอัตราการเจริญเติบโตของเม่นทะเล นากทะเล และสาหร่ายเคลป์บริเวณชายฝั่งอลาสก้า เป็นต้น

นอกจากนี้ Bryce et al. (2016) แบ่งประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยาออกเป็น 5 ประเภท ตามแบบจำลองที่ใช้ในการเรียนรู้ชีววิทยา ดังนี้

1) แบบจำลองเชิงรูปธรรม (Concrete models) เช่น แบบจำลองลักษณะทางกายภาพของดีเอ็นเอ แบบจำลองดินน้ำมันแสดงระบบย่อยอาหาร เป็นต้น

2) แบบจำลองเชิงภาษา (Verbal models) เช่น การบรรยายเกี่ยวกับโครงสร้างของดีเอ็นเอ การบรรยายโดยเปรียบเทียบจงอยปากของนกฟินซ์กับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับประทานอาหารต่าง ๆ เช่น ช้อน ส้อม ตะเกียบ เป็นต้น

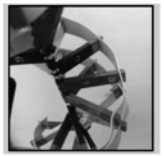
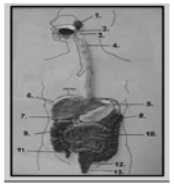
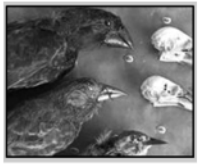
3) แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ (Symbolic models) เช่น การใช้สัญลักษณ์และสมการมาช่วยในการคำนวณความถี่อัลลีล เป็นต้น

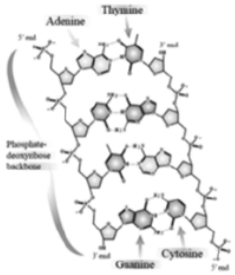
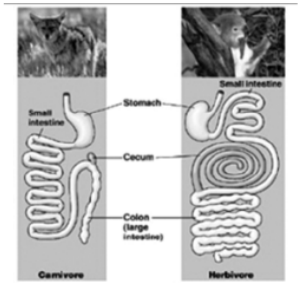
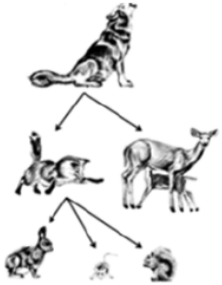
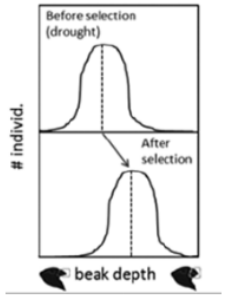
4) แบบจำลองเชิงภาพ (Visual models) เช่น ภาพแสดงโครงสร้างของดีเอ็นเอ ภาพแสดงทางเดินอาหารของสัตว์ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

5) แบบจำลองเชิงท่าทาง (Gestural models) เช่น การใช้มือแสดงการเคลื่อนที่แบบเพอริสตัลซิส เป็นต้น

ประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยาตามแบบจำลองที่ใช้ในการเรียนรู้ มีรายละเอียดของประเภทและตัวอย่างที่ใช้ในบทเรียนต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทและตัวอย่างของแบบจำลองทางชีววิทยา (Bryce et al., 2016)

วิธีการ (Mode)	ดีเอ็นเอ	ระบบย่อยอาหาร	สายใยอาหาร	วิวัฒนาการ
แบบจำลองเชิงรูปธรรม (Concrete/material models)	แบบจำลองทางกายภาพของดีเอ็นเอ (เช่น การสร้างแบบจำลองจากพลาสติก) 	แบบจำลองดินน้ำมันของระบบย่อยอาหาร 	สวนถาดหรือตู้ปลา	แบบจำลองจะงอยปากของนกฟินช์ 
แบบจำลองเชิงภาษา (Verbal models)	โมเลกุลของดีเอ็นเอมีลักษณะโครงสร้างเป็นเกลียวที่ประกอบด้วยด้วยน้ำตาลและหมู่ฟอสเฟตอยู่ด้านข้าง และมีเบสวงแหวนอยู่เป็นคู่	ช่องทางเดินอาหารมีลักษณะเป็นท่อยาว โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางเดินอาหารขึ้นอยู่กับแต่ละอวัยวะ	ในระบบนิเวศประกอบด้วยสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตที่มีการกินต่อกันเป็นทอดๆ	จงอยปากของนกฟินช์เปรียบเทียบได้กับส้อม มีด ช้อน และตะเกียบ ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดมีความเหมาะสมสำหรับอาหารที่แตกต่างกันออกไป
แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ (Symbolic models)	จากสมบัติของเบสคู่สม คือ เบส A-T และ G-C สามารถคำนวณเบส A จากเบส G ได้ ถ้ากำหนดให้มีเบส G = 20% ดังนั้นเบส A เป็นร้อยละเท่าไร คำนวณเบส A ได้จาก (100-(2*20))/2 = ร้อยละ 30	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างง่ายของเอนไซม์และตัวเร่งปฏิกิริยา คือ	หากพลังงานสุทธิ (Net energy) จากผู้ผลิตประมาณร้อยละ 10 ถูกถ่ายโอนไปยังสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับถัดไป ผู้บริโภคลำดับที่สองจะได้รับพลังงานจากผู้ผลิตที่มีพลังงาน 10,000 kcal เป็นกี่ kcal (ได้รับประมาณ 1,000 kcal)	จงอยปากขนาดใหญ่ = A (ลักษณะเด่น) จงอยปากขนาดเล็ก = B (ลักษณะด้อย) นกฟินช์จำนวน 100 ตัว มีจีโนไทป์เป็น 500AA 15Aa และ 35Aa จงคำนวณความถี่อัลลีลของ A และ a ก่อนและหลังการคัดเลือกเมื่อตัวอย่างนกฟินช์ที่ได้รับการคัดเลือกมา มีจีโนไทป์เป็น 75AA 5Aa และ 20aa

วิธีการ (Mode)	ดีเอ็นเอ	ระบบย่อยอาหาร	สายใยอาหาร	วิวัฒนาการ
แบบจำลองเชิงภาพ (visual models)				
แบบจำลองเชิงท่าทาง (gestural models)	ครูแสดงการแยกออกของคู่ DNA (unzipping) และการจับคู่ของ DNA โดยใช้มือและการสานกันของนิ้วมือ	ใช้มือแสดงการเคลื่อนที่แบบเพอริสตัลซิส (Peristalsis)	นักเรียนยืนเป็นแถว 3-4 คน (ตามลำดับขั้นของการกิน) หลังจากนั้นจึงส่งลูกบอลต่อกันเป็นทอดๆ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ในระบบนิเวศ	ให้นักเรียนใช้อุปกรณ์ที่ได้รับ เช่น ส้อม มีด ช้อน และตะเกียบตักเมล็ดพืชที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน

จากการศึกษาและวิเคราะห์ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และแบบจำลองทางชีววิทยา สรุปได้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ สามารถแบ่งประเภทให้ครอบคลุมตามวิธีการ (Mode) ออกเป็น 5 ประเภทตามแนวคิดของ Gilbert (2004) คือ แบบจำลองเชิงรูปธรรม แบบจำลองเชิงภาษา แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ แบบจำลองเชิงภาพ และแบบจำลองเชิงท่าทาง สอดคล้องกับการแบ่งประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยาของ Bryce et al. (2016) ออกเป็น 5 ประเภทเช่นกัน แต่แบบจำลองทางชีววิทยาเน้นการนำแบบจำลองไปใช้ในบริบทเนื้อหาที่มีความเฉพาะกับเนื้อหาชีววิทยาและเป็นแบบจำลองที่สอดแทรกในระหว่างการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในห้องเรียนเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ทางชีววิทยา

1.4 ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง พบว่านักวิชาการและนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ระบุคำศัพท์เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง คือ Modeling Modelling และ Making model โดยให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Lesh, Lester, and Hjalmarson (2003) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นระบบของมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงถึงการใช้ตัวแทนความคิดที่สัมพันธ์กัน รวมถึงการเขียนสัญลักษณ์ การพูด กราฟิก แผนภาพ หรือกราฟ

Yildirim (2011) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นการออกแบบแบบจำลองหรือคำอธิบายของปรากฏการณ์หรือระบบของปรากฏการณ์ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย

Fortus, Rosenfeld, and Shwartz (2010) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า การสร้างแบบจำลองประกอบด้วยองค์ประกอบของการปฏิบัติ (การสร้าง การใช้ การประเมิน และการปรับปรุงแบบจำลอง) และความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมาน (meta-modeling knowledge) ที่ช่วยชี้แนะและกระตุ้นการปฏิบัติ (เช่น ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติและวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง)

National Research Council (2011) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นการผลิตและการปรับปรุงแบบจำลอง ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

Rapp and Sengupta (2012) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นกระบวนการสร้าง ขยาย ตรวจสอบ หรือทดสอบแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

Hoskinson et al. (2014) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นการสร้างมโนทัศน์ (Conceptual construction) ที่ช่วยทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก โดยการสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยการสร้างและการใช้แบบจำลอง

Nicolaou and Constantinou (2014) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นกระบวนการสร้างและพัฒนาแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งช่วยส่งเสริมการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ กระบวนการ และการพัฒนาความตระหนักรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์

Gilbert and Justi (2016) ให้ความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นกระบวนการของการผลิตหรือสร้างแบบจำลอง โดยกระบวนการประกอบด้วยการใช้ และการแปลความหมายของแบบจำลอง

จากการศึกษาความหมายของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง กระบวนการสร้างและพัฒนาแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นำไปสู่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วยการปฏิบัติ ได้แก่ การสร้าง การใช้ การประเมินและการปรับปรุงแบบจำลอง และความรู้ในการสร้างแบบจำลอง

1.5 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีนักวิชาการ และนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ระบุองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองไว้ ดังนี้

Chang (2008) ได้ระบุถึงองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1) ความเข้าใจในแบบจำลองว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

2) การเรียนรู้และการสร้างแบบจำลอง เพื่อนำเสนอปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

3) การนำแบบจำลองไปใช้แก้ปัญหา การทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ การเชื่อมโยงและพัฒนาแบบจำลองทางความคิด

Hung et al. (2009) ได้ระบุองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองออกเป็น 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1) การเลือกแบบจำลอง (Model selection) โดยพิจารณาส่วนประกอบของระบบ ประเภทการอ้างอิง และความเหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง

2) การสร้างแบบจำลอง (Model construction) ผ่านการคำนึงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร มโนทัศน์ และกฎ

3) การพิสูจน์ความถูกต้องแบบจำลอง (Model validation) ผ่านการคำนึงถึงความสอดคล้อง ความสมบูรณ์ และความเที่ยงของแบบจำลอง

4) การวิเคราะห์แบบจำลอง (Model analysis) ผ่านการคำนึงถึงประเด็นทางคณิตศาสตร์ และการให้เหตุผลที่สอดคล้องและตรงกัน

5) การนำแบบจำลองไปใช้ (Model application) โดยสามารถระบุข้อจำกัด ปัญหาที่เกิดขึ้น ขอบเขตของแบบจำลอง และแนวทางการแก้ไข

Schwarz et al. (2009) ได้ระบุองค์ประกอบของการสร้างแบบจำลองว่า ประกอบด้วยการปฏิบัติสำหรับการสร้างแบบจำลอง (Practice of modeling) และความรู้เชิงอภิมาน (Meta-knowledge) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

การปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วย 4 กระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

1) นักเรียนสร้างแบบจำลอง (Construct models) ที่สอดคล้องกับหลักฐานและทฤษฎีที่แสดง อธิบาย หรือทำนายปรากฏการณ์

2) นักเรียนใช้แบบจำลอง (Use models) เพื่อแสดง อธิบาย และทำนายปรากฏการณ์

3) นักเรียนเปรียบเทียบและประเมิน (Compare and evaluate) ความสามารถของแบบจำลองที่แตกต่างกันในส่วนของการแสดงความถูกต้องและการพิจารณารูปแบบของปรากฏการณ์และทำนายปรากฏการณ์ใหม่

4) นักเรียนปรับปรุงแบบจำลอง (Revise models) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอธิบายและทำนาย พิจารณาเกี่ยวกับเหตุการณ์หรือลักษณะของปรากฏการณ์เพิ่มเติม

ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมาน (Metamodeling knowledge) ช่วยชี้แนะนักเรียนเกี่ยวกับการปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง และช่วยให้นักเรียนสามารถวางแผนและประเมินสิ่งที่สนใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความรู้ในการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมานแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ธรรมชาติของแบบจำลอง 2) วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง และ 3) เกณฑ์สำหรับประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความรู้ในการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมาน

องค์ประกอบ	คำอธิบาย
ธรรมชาติของแบบจำลอง (Nature of models)	(1) แบบจำลองสามารถแสดงสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้และไม่สามารถเข้าถึงกระบวนการได้ (2) แบบจำลองที่แตกต่างกันมีประโยชน์ที่แตกต่างกัน (3) แบบจำลองเป็นตัวแทนความคิดที่มีข้อจำกัดในการแทนเกี่ยวกับปรากฏการณ์ (4) แบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับปรากฏกาณ์ที่เพิ่มขึ้น (5) แบบจำลองมีหลายประเภท เช่น แผนภาพ แบบจำลองเชิงกายภาพ สถานการณ์ เป็นต้น
วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Purpose of models)	(1) แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการสร้างความรู้ (2) แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการสื่อสารสำหรับถ่ายทอดความเข้าใจหรือความรู้ (3) แบบจำลองสามารถพัฒนาความเข้าใจใหม่ ด้วยการทำนายลักษณะของปรากฏการณ์ (4) แบบจำลองใช้เพื่อแสดง อธิบาย และทำนายปรากฏการณ์
เกณฑ์สำหรับการประเมินและการปรับปรุงแบบจำลอง (Criteria for evaluation and revising models)	(1) แบบจำลองต้องขึ้นอยู่กับหลักฐานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ (2) แบบจำลองประกอบด้วยสิ่งที่สัมพันธ์กับวัตถุประสงค์

National Research Council (2011) กล่าวว่า การสร้างแบบจำลอง (Modeling) ของนักเรียนสามารถเกิดขึ้นตั้งแต่ระดับประถมต้นในลักษณะของแบบจำลองเชิงรูปธรรม ภาพวาด และ/หรือแบบจำลองระดับกายภาพ เช่น แบบจำลองรถของเล่น เป็นต้น เมื่อนักเรียนอยู่ในระดับสูงขึ้น แบบจำลองของนักเรียนมีความเป็นนามธรรมมากขึ้น เช่น แผนภาพแสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุ เป็นต้น และได้ระบุองค์ประกอบของความสามารถในสร้างแบบจำลองสำหรับนักเรียนระดับต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1) นักเรียนเกรด K-2 ประกอบด้วยความสามารถย่อย 3 ความสามารถ คือ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง และการพัฒนาแบบจำลอง

2) นักเรียนเกรด 3-5 ประกอบด้วยความสามารถย่อย 4 ความสามารถ คือ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลอง และการพัฒนาแบบจำลอง

3) นักเรียนเกรด 6-8 ประกอบด้วยความสามารถย่อย 5 ความสามารถ คือ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลอง การพัฒนาแบบจำลอง และปรับปรุงแบบจำลอง

4) นักเรียนเกรด 9-12 ประกอบด้วยความสามารถย่อย 6 ความสามารถ คือ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลอง การพัฒนาแบบจำลอง ปรับปรุงแบบจำลองและปรับเปลี่ยนแบบจำลอง

รายละเอียดขององค์ประกอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองสำหรับนักเรียนในแต่ละระดับ ตั้งแต่เกรด K-2 ถึงเกรด 12 แสดงในตารางที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองสำหรับนักเรียนในระดับต่าง ๆ (National Research Council, 2011)

เกรด K-2	เกรด 3-5	เกรด 6-8	เกรด 9-12
การสร้างแบบจำลองใน K-2 สร้างขึ้นบนพื้นฐานของประสบการณ์เดิมและดำเนินต่อไปยังการใช้และการพัฒนาแบบจำลอง (เช่น แผนภาพ ภาพวาด ภาพ 3 มิติ เป็นต้น) ที่แสดงหลักฐานทางกายภาพหรือออกแบบสำหรับการแก้ปัญหา • ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองและวัตถุจริง กระบวนการ หรือหลักฐานที่แบบจำลองแสดง • เปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อระบุลักษณะพื้นฐานและลักษณะที่แตกต่างของแบบจำลอง • พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลองเพื่อแสดงจำนวนความสัมพันธ์ ระดับของความสัมพันธ์ (ระดับใหญ่ ระดับเล็ก) และ/หรือรูปแบบในธรรมชาติ	การสร้างแบบจำลองในเกรด 3-5 สร้างขึ้นบนประสบการณ์จาก K-2 และดำเนินต่อไปยังการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองอย่างง่ายและใช้แบบจำลองเพื่อแสดงหลักฐานและออกแบบสำหรับการแก้ปัญหา • ระบุข้อจำกัดของแบบจำลอง • พัฒนาการร่วมมือรวมพลังและ/หรือปรับปรุงแบบจำลองโดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของตัวแปรและหลักฐาน • พัฒนาแบบจำลองโดยใช้การเทียบร่วม ใช้ตัวอย่าง หรือใช้ตัวแทนความคิดเชิงนามธรรม เพื่ออธิบายโดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์หรือออกแบบสำหรับการออกแบบสำหรับการแก้ปัญหา	การสร้างแบบจำลองในเกรด 6-8 สร้างขึ้นบนประสบการณ์จาก K-5 และดำเนินต่อไปยังการพัฒนา การใช้ การปรับปรุงแบบจำลองเพื่อบรรยาย ทดสอบ และทำนายปรากฏการณ์ที่มีความเป็นนามธรรมมากขึ้นและออกแบบระบบ • ประเมินข้อจำกัดของแบบจำลองเพื่อนำเสนอวัตถุหรือเครื่องมือ • พัฒนาหรือปรับเปลี่ยนแบบจำลองโดยขึ้นอยู่กับหลักฐาน หากตัวแปรหรือองค์ประกอบของระบบมีการเปลี่ยนแปลง • ใช้และ/หรือพัฒนาแบบจำลองของระบบอย่างง่ายกับปัจจัยที่ไม่แน่นอนและปัจจัยที่มีข้อจำกัดของการทำนาย	การสร้างแบบจำลองในเกรด 9-12 สร้างขึ้นบนประสบการณ์จาก K-8 และดำเนินต่อไปยังการใช้ การสังเคราะห์และการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายและแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในธรรมชาติ • ประเมินข้อดีและข้อจำกัดของสองแบบจำลองที่แตกต่างกันภายใต้การแสดงวัตถุ กระบวนการ กลไกหรือระบบที่เดียวกันในการเลือกหรือปรับปรุงแบบจำลองที่เหมาะสมกับหลักฐานหรือเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ที่สุด • ออกแบบการทดสอบแบบจำลองเพื่อกระบวนการสืบสอบที่น่าเชื่อถือ • พัฒนา ปรับปรุง และ/หรือใช้แบบจำลองโดยขึ้นอยู่กับหลักฐานที่

เกรด K-2	เกรด 3-5	เกรด 6-8	เกรด 9-12
• พัฒนาแบบจำลองโดยง่ายจากหลักฐานที่แสดงจากวัตถุหรือเครื่องมือ	• พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายและทำนายปรากฏการณ์ • พัฒนาแผนภาพหรือต้นแบบทางกายภาพอย่างง่ายเพื่อถ่ายทอดวัตถุ เครื่องมือ หรือกระบวนการ • ใช้แบบจำลองเพื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลหรือปฏิสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติหรือออกแบบสำหรับการแก้ปัญหา	• พัฒนาและ/หรือปรับปรุงแบบจำลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และทำนายปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถสังเกตได้ • พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลองเพื่อทำนายและ/หรืออธิบายปรากฏการณ์ • พัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายกลไกที่ไม่สามารถสังเกตได้ • พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลองเพื่อสร้างข้อมูลสำหรับทดสอบแนวคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ในธรรมชาติหรือออกแบบระบบที่ประกอบด้วยการแสดงข้อมูลและผลลัพธ์ในระดับที่ไม่สามารถสังเกตได้	แสดงและ/หรือทำนายความสัมพันธ์ของระบบหรือองค์ประกอบของระบบ • พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลองที่หลากหลายเพื่อพิจารณาเหมาะสมและ/หรือทำนายปรากฏการณ์ และปรับเปลี่ยนแบบจำลองไปตามข้อดีหรือข้อจำกัดของแบบจำลอง • พัฒนาแบบจำลองที่มีความซับซ้อนซึ่งช่วยในการจัดการและทดสอบกับกระบวนการหรือระบบ • พัฒนาและ/หรือใช้แบบจำลอง (รวมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์) เพื่อสร้างข้อมูลที่สนับสนุนการอธิบาย ทำนายปรากฏการณ์และวิเคราะห์ระบบและ/หรือแก้ไขปัญหา

Papaevripidou, Nicolaou, and Constantinou (2014) ได้ระบุองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองเป็น 2 องค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยการปฏิบัติเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง (Modeling practices) และความรู้เชิงอภิมาน (Meta-knowledge) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) การปฏิบัติเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง (Modeling practices) ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ คือ การสร้างแบบจำลอง (Model construction) การใช้แบบจำลอง (Model use) การเปรียบเทียบแบบจำลอง (Models comparison) และการปรับปรุงแบบจำลอง (Model revision)

2) ความรู้เชิงอภิมานเกี่ยวกับแบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง (Meta-knowledge about model and modeling) ประกอบด้วยความรู้ 2 ประเภท คือ ความรู้เชิงอภิมานเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Meta-knowledge about the modeling process) ซึ่งกล่าวถึงความสามารถของนักเรียนในการแสดงและสะท้อนขั้นตอนที่สำคัญในระหว่างการสร้างแบบจำลองและการได้มาซึ่งความรู้ในการสร้างแบบจำลอง (Epistemic knowledge) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับธรรมชาติของแบบจำลองและวัตถุประสงค์ของแบบจำลองและสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง

Jong et al. (2015) ได้ระบุสมรรถนะในการสร้างแบบจำลองว่าเป็นทักษะการคิด ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังนี้

1) การเลือกองค์ประกอบของแบบจำลองที่มีความเหมาะสม (Model selection)

2) การเชื่อมองค์ประกอบของแบบจำลอง เพื่อสร้างแบบจำลอง (Model construction)

3) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model validation)

4) การนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ปัญหาที่เป้าหมาย (Model analysis)

5) การประยุกต์แบบจำลอง เพื่อใช้แก้ปัญหาในบริบทที่คล้ายกัน (Model deployment)

6) การปรับปรุงแบบจำลอง (Model reconstruction)

โดยสรุปแล้ว จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง พบว่านักวิชาการและนักการศึกษาระบุองค์ประกอบของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากงานวิจัยต่าง ๆ

องค์ประกอบ	ผู้ศึกษา และปีที่ศึกษา (คศ.) ความสามารถในการสร้างแบบจำลอง				
	Hung et al. (2009)	Schwarz et al. (2009)	NGSS (2011)	Papaevripidou et al. (2014)	Jong et al. (2015)
การปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง					
1. การเลือกแบบจำลอง (Model selection)	✓	-	-	-	✓
2. การสร้างแบบจำลอง (Model construction)	✓	✓	✓	✓	✓
3. การตรวจสอบแบบจำลอง (Model validation)	-	-	-	-	✓
4. การวิเคราะห์แบบจำลอง (Model analysis)	✓	-	-	-	✓
5. การปรับเปลี่ยนแบบจำลอง (Model deployment)	-	-	✓	-	✓
6. การปรับปรุงแบบจำลอง (Model reconstruction)	-	✓	✓	✓	✓
7. การใช้แบบจำลอง (Model use)	-	✓	✓	✓	-
8. เปรียบเทียบและประเมินแบบจำลอง (Compare and evaluate)	✓	✓	-	✓	-
ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง	-	✓	-	✓	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบของความสามารถในสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ พบว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) การปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง (การเลือกและใช้แบบจำลอง) การประเมินแบบจำลอง (การตรวจสอบเปรียบเทียบและประเมินแบบจำลอง) และการปรับปรุงแบบจำลอง (การปรับเปลี่ยนและปรับปรุงแบบจำลอง) และ 2) ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง ซึ่งพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องอาศัยความรู้ในการสร้างแบบจำลองร่วมด้วย (Schwarz et al., 2009)

1.6 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่านักวิชาการและนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้ระบุเครื่องมือที่ใช้และเกณฑ์สำหรับวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือ 1) แบบจำลอง 2) งานของนักเรียนและการอภิปรายในห้องเรียน 3) แบบสัมภาษณ์ และ 4) แบบสอบถาม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.6.1 แบบจำลอง การวัดและประเมินแบบจำลอง มีตัวอย่างการวัดและเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

Bamberger and Davis (2013) ทำการวัดและประเมินแบบจำลองเชิงภาษาและแบบจำลองเชิงภาพร่วมกัน จากการให้นักเรียนวาดแบบจำลองเรื่อง กลิ่น การระเหย และแรงเสียดทาน จากนั้นแบ่งองค์ประกอบของการประเมินเป็น 4 องค์ประกอบ คือ 1) การอธิบาย 2) การเปรียบเทียบ 3) ความเป็นนามธรรม และ 4) การระบุองค์ประกอบของแบบจำลอง โดยมีข้อคำถามและเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5 และตัวอย่างแบบจำลองของนักเรียนแสดงในภาพที่ 1 ดังนี้

ข้อคำถาม

1. บิลล์และชอว์นน่ารู้สึกประหลาดใจเมื่อพวกเขาพบว่ากลิ่นจางหายไปในสภาพอากาศที่เย็นได้เร็วกว่าสภาพอากาศที่ร้อน พวกเขาจึงทำการทดลองให้สภาพห้องมีอุณหภูมิที่ต่ำ (50 °F) และวัดเวลาที่กลิ่นจางหายไปหลังจากเสียบปลั๊กเครื่องดับกลิ่น วันต่อมาพวกเขาทำการทดลองในห้องเดียวกันแต่ทำในสภาพอากาศที่อุณหภูมิสูง (85 °F) และวัดเวลาที่กลิ่นจางหายไปหลังจากเสียบปลั๊กเครื่องดับกลิ่นเช่นเดิม ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

ก. นักเรียนคิดว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดลองของบิลล์และชอว์นน่าคือข้อใด ให้นักเรียนวงกลมข้อที่ถูกต้องจากตัวเลือกที่กำหนดให้

1. กลิ่นหายไปในเวลาเดียวกันทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง
2. กลิ่นหายไปได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 85 °F
3. กลิ่นหายไปได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 50 °F

ข. ให้นักเรียนวาดแบบจำลองที่ช่วยอธิบายตัวเลือกในข้อ ก. (แบบจำลองที่นักเรียนสร้างควรแสดงว่าทำไมกลิ่นที่อุณหภูมิหนึ่งเร็วกว่าอีกอุณหภูมิหนึ่ง)

ตารางที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์ที่ใช้ประเมินแบบจำลองเชิงภาษาและเชิงภาพ (Bamberger & Davis, 2013)

ระดับ	คำอธิบาย	การเปรียบเทียบ	ความเป็นนามธรรม	การระบุ
1	แบบจำลองไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นก่อนและหลัง แต่ไม่มีการอธิบายกระบวนการ	ไม่มีการเปรียบเทียบแบบจำลอง มีการอธิบายเฉพาะสถานการณ์เดียว	มีเฉพาะองค์ประกอบที่สามารถมองเห็นได้ เช่น เครื่องดับกลิ่นหรือบุคคล	ไม่มีการระบุคำสำคัญ
2	แบบจำลองที่อธิบายว่าสิ่งที่เกิดขึ้นเกิดผ่านกระบวนการที่นำไปสู่ผลลัพธ์ แต่ไม่มีการอธิบายเหตุผล	มีการเปรียบเทียบแบบจำลองที่อธิบายเพียงสถานการณ์เดียวแต่มีคำศัพท์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เช่น เร็วกว่า ช้ากว่า	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น คลื่น การเคลื่อนที่ของโมเลกุลด้วย	มีการระบุองค์ประกอบของแบบจำลองบางส่วน
3	แบบจำลองที่อธิบายว่าสิ่งที่เกิดขึ้นเกิดผ่านกระบวนการ รวมถึงเหตุผลสำหรับการเกิดผลลัพธ์ โดยมีการอธิบายผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้ง 2 อุณหภูมิ	มีการเปรียบเทียบแบบจำลองในการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นทั้งสองสถานการณ์	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละองค์ประกอบ	มีการระบุองค์ประกอบของแบบจำลองของนักเรียนทั้งหมด

สิ่งที่นักเรียนระบุต้องแตกต่างจากแบบจำลอง

แผนภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบจำลองของนักเรียนจากงานวิจัยของ Bamberger and Davis (2013)

จากแผนภาพนักเรียนได้คะแนนเป็นดังนี้ 1) คำอธิบายเท่ากับ 2 คะแนน เนื่องจากมีการแสดงกระบวนการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ โดยใช้ลูกศร แต่ไม่มีการแสดงกลไก 2) การเปรียบเทียบเท่ากับ 2 คะแนน เนื่องจากแบบจำลองแสดงที่สถานะอุณหภูมิเดียว แต่มีการใช้คำศัพท์ว่า “ช้า” แสดงการเปรียบเทียบ 3) ความเป็นนามธรรมเท่ากับ 2 คะแนน เนื่องจากมีการแสดงการเคลื่อนที่ของกลิ่นซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เป็นนามธรรม และ 4) การระบุองค์ประกอบของแบบจำลองเท่ากับ 2 คะแนน เนื่องจากไม่มีข้อความระบุกลิ่นและลูกศร แต่มีข้อความระบุอุณหภูมิ ประตู เครื่องดับกลิ่น และนักเรียน 2 คนที่ทำการทดลอง

1.6.2) งานของนักเรียนและการอภิปรายในห้องเรียน การวัดและการประเมินกระบวนการปฏิบัติในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวอย่างเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

Schwarz et al. (2009) แบ่งเกณฑ์การประเมินกระบวนการปฏิบัติออกเป็น 1) เกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างและใช้แบบจำลอง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 6 และ 2) เกณฑ์การประเมินกระบวนการปรับปรุงแบบจำลอง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 เกณฑ์ในการประเมินกระบวนการสร้างและใช้แบบจำลอง

ระดับ	พฤติกรรมบ่งชี้
4	(1) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองในขอบเขตของการช่วยในการคิด (2) นักเรียนพิจารณาว่าปรากฏการณ์และแบบจำลองที่หลากหลายมีความสอดคล้องกัน (3) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อตั้งคำถามใหม่เกี่ยวกับพฤติกรรมหรือปรากฏการณ์
3	(1) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองที่หลากหลายเพื่ออธิบายและทำนายลักษณะของปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้อง (2) นักเรียนมองว่าแบบจำลองเป็นเครื่องมือที่สามารถสนับสนุนความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่มีอยู่และปรากฏการณ์ใหม่

ระดับ	พฤติกรรมบ่งชี้
	(3) นักเรียนพิจารณาทางเลือกในการสร้างแบบจำลองจากการวิเคราะห์จุดเด่นและจุดด้อยของแบบจำลองที่แตกต่างกันในการอธิบายและทำนาย
2	(1) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อแสดงและอธิบายเกี่ยวกับการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ โดยการพิจารณาร่วมกับหลักฐานที่เกี่ยวข้อง (2) นักเรียนมองว่าแบบจำลองเป็นเครื่องมือสื่อสารความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์มากกว่าเครื่องมือสำหรับการสนับสนุนความคิด
1	(1) นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อแสดงถึงปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ (2) นักเรียนไม่สามารถมองว่าแบบจำลองเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างความรู้ใหม่ แต่มองว่าแบบจำลองเป็นการแสดงถึงสิ่งอื่นซึ่งมีความคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ที่สังเกต

ตารางที่ 7 เกณฑ์ในการประเมินกระบวนการปรับปรุงแบบจำลอง

ระดับ	พฤติกรรมบ่งชี้
4	(1) นักเรียนพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองเพื่อพัฒนาการอธิบายที่ดีขึ้นก่อนการสนับสนุนด้วยหลักฐาน แบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาคำถามที่ทดสอบกับหลักฐานจากปรากฏการณ์ (2) นักเรียนประเมินแบบจำลองโดยพิจารณาลักษณะร่วมของแบบจำลองที่สามารถพัฒนาคำอธิบายและการทำนายที่มีประสิทธิภาพ
3	(1) นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองที่เหมาะสมสอดคล้องกับหลักฐาน เพื่อพัฒนาคำอธิบาย (2) นักเรียนเปรียบเทียบแบบจำลอง จากการมองเห็นองค์ประกอบที่แตกต่างหรือความสัมพันธ์ที่เหมาะสมต่อปรากฏการณ์มากกว่า และมีกลไกในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ดีกว่า
2	(1) นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองโดยขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้รับจากครู หนังสือ หรือเพื่อนมากกว่าการพิจารณาจากหลักฐานที่ได้รับจากปรากฏการณ์หรือกลไกในการอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ (2) นักเรียนสร้างการเปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนารายละเอียด ความชัดเจน และเพิ่มเติมข้อมูลโดยปราศจากการพิจารณาคำอธิบายที่มีประสิทธิภาพของแบบจำลองหรือความเหมาะสมต่อหลักฐานเชิงประจักษ์

ระดับ	พฤติกรรมบ่งชี้
1	(1) นักเรียนไม่คาดหวังว่าแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงจะนำไปสู่ความรู้ใหม่ นักเรียนพูดคุยเกี่ยวกับแบบจำลองในแง่ของความสมบูรณ์ โดยไม่พิจารณาถึงคำตอบที่ถูกหรือผิด (2) นักเรียนเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อประเมิน

1.6.3 แบบสัมภาษณ์ แบบสัมภาษณ์ที่ใช้จะเน้นไปที่ความรู้เชิงอภิมานในการสร้างแบบจำลอง (Meta-modeling knowledge) โดยงานวิจัยของ Grosslight, Unger, Jay, and Smith (1991) ใช้แบบสัมภาษณ์เพื่อสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และการได้มาซึ่งความรู้ โดยมีการระบุระดับพื้นฐานของการคิดเกี่ยวกับแบบจำลองออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 แบบจำลองได้รับกระตุ้นในลักษณะของการจำลองหรือการทำซ้ำให้ง่ายขึ้นจากปรากฏการณ์ที่เป็นจริง

ระดับที่ 2 แบบจำลองมีวัตถุประสงค์ที่เฉพาะเจาะจงและชัดเจน และต้องแตกต่างจากปรากฏการณ์ ในระดับนี้เน้นไปที่แบบจำลองและความเสมือนเป็นจริง แต่ยังไม่มีแนวคิดมาสนับสนุน

ระดับที่ 3 ระดับนี้ประกอบด้วยปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการ คือ 1) แบบจำลองที่สร้างขึ้นสนับสนุนการพัฒนาและทดสอบแนวคิด 2) ผู้สร้างแบบจำลองมีบทบาทในการสร้างแบบจำลองที่สามารถจัดการได้ และ 3) เป้าหมายของแบบจำลองเพื่อทดสอบการได้มาซึ่งความรู้

โดยแนวความคิดของนักเรียนขึ้นอยู่กับระดับคะแนนใน 6 มิติ คือ 1) บทบาทของแนวคิด 2) การใช้สัญลักษณ์ 3) บทบาทของผู้สร้างแบบจำลอง 4) การสื่อสาร 5) การทดสอบ และ 6) การจัดการในการสร้างแบบจำลอง ในแต่ละมิตินักเรียนจะได้รับคะแนน 1 2 และ 3 คะแนน และงานวิจัยของ Grosslight et al. (1991) ถือเป็นพื้นฐานสำหรับวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองในงานวิจัยอื่น ๆ (Nicolaou & Constantinou, 2014)

4) แบบสอบถาม (Questionnaire) จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่ารูปแบบของแบบสอบถามประกอบไปด้วยคำถามปลายเปิด คำถามปลายปิดแบบเลือกตอบ มาตราส่วนประมาณค่า และคำถามให้เลือกตอบใช่หรือไม่ใช่ โดยแบบสอบถามที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ แบบสอบถามคำถามปลายเปิด (Nicolaou & Constantinou, 2014) ซึ่งมีนักการศึกษาหลายท่านกล่าวถึงแบบสอบถามรูปแบบคำถามปลายเปิดไว้ ดังนี้

Schwarz and White (2005) ใช้คำถามปลายเปิดในการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง นักเรียนสามารถระบุแบบจำลองที่เป็นนามธรรมและมีความเข้าใจในแบบจำลองว่า แบบจำลองเป็นตัวแทนความคิดที่ใช้ในการอธิบายและทำนาย โดยนักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจว่าแบบจำลองหลายชนิดอาจแทนปรากฏการณ์เดียวกันได้ แบบจำลองอาจจะไม่ใช่แบบจำลองที่ถูกต้อง และแบบจำลองสามารถทำนายวัตถุทางกายภาพได้ นักเรียนเรียนรู้ว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ได้ในหลายทิศทาง ได้แก่ การใช้เป็นมโนภาพ การทดสอบทฤษฎี การทำนายปรากฏการณ์ และช่วยให้มนุษย์เข้าใจวิทยาศาสตร์

Everett, Otto, and Luera (2009) ใช้คำถามปลายเปิดในการศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในการสร้างแบบจำลอง พบว่านักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเชิงอภิมาน (Meta-modeling knowledge) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วย “Science Capstone Course” โดยความรู้ของนักเรียนเพิ่มขึ้นโดยการพิจารณาจาก 1) การระบุแบบจำลองและการรายงานประเภทของแบบจำลองจากตัวอย่างที่เฉพาะเจาะจง 2) ระบุแบบจำลองว่าเป็นแบบจำลองเป็นตัวแทนความคิดที่หลากหลายและเป็นเครื่องมือในการสร้างคำอธิบาย 3) เข้าใจเกี่ยวกับการใช้แบบจำลอง 4) ธรรมชาติของแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาและวิเคราะห์การวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง พบว่าการวัดและการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยการประเมิน 4 วิธี คือ 1) การประเมินผลงานหรือแบบจำลองโดยใช้แบบวัดและเกณฑ์การประเมินแบบจำลอง 2) การประเมินการปฏิบัติในการสร้างแบบจำลองและการอภิปรายในห้องเรียนโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบจำลอง 3) การสัมภาษณ์เกี่ยวกับความรู้เชิงอภิมานเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองจากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ 4) การสอบถามเกี่ยวกับความรู้เชิงอภิมานเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองและการปฏิบัติในการสร้างแบบจำลองจากแบบสอบถาม ซึ่งเป็นลักษณะคำถามปลายปิดและคำถามปลายเปิด

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีนักวิชาการ และนักการศึกษาให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Carter (1959) ได้ให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ผลการสะสมความรู้ ความสามารถในการเรียนทุกด้านเข้าด้วยกัน

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) ได้ให้นิยามของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในการกระทำสิ่งหนึ่งสิ่งใดได้ จากที่ไม่เคยกระทำ หรือกระทำได้น้อยก่อนที่จะมีการเรียนการสอน ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่มีการวัดได้

ศิริชัย กาญจนวาสี (2552) ได้ให้นิยามของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้ตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอันเกิดจากกระบวนการเรียนการสอนในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งที่ผ่านมา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้ให้นิยามของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ คือ พฤติกรรมการเรียนรู้ที่พึงประสงค์ด้านสติปัญญาหรือความรู้ความคิดในวิชาวิทยาศาสตร์ โดยยึดตามแนวคิดของ Klopfer (1971) แบ่งการประเมินผลการเรียนรู้ด้านความรู้ความคิดเป็น 4 ด้าน คือ 1) ด้านความรู้ความจำ 2) ด้านความเข้าใจ 3) ด้านกระบวนการสืบสอบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 4) ด้านนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2548) ได้ให้นิยามของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ หมายถึง ขนาดของความสำเร็จที่ได้จากกระบวนการเรียนการสอน

จากการศึกษาความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สรุปว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้หรือพฤติกรรมการเรียนรู้อันพึงประสงค์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อแสดงถึงความสามารถในการเรียนที่ได้จากกระบวนการเรียนการสอน ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่มีการวัดได้

Chulalongkorn University

2.2 องค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีหน่วยงาน นักวิชาการ และนักการศึกษาจำแนกองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ด้วยพฤติกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกัน ดังนี้

Klopfer (1971) จำแนกองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ตามพฤติกรรมการเรียนรู้ในการจัดการเรียนการสอน ซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมการเรียนรู้ 6 ด้าน คือ 1) ความรู้และความเข้าใจ 2) กระบวนการสืบสอบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ 3) การนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ 4) ทักษะปฏิบัติการในการใช้เครื่องมือ 5) เจตคติและความสนใจ และ 6) การมีแนวโน้มทางวิทยาศาสตร์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ความรู้และความเข้าใจ (Knowledge and comprehension) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริง คำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ ข้อตกลง แนวโน้ม และการ

เรียงลำดับ การจำแนกประเภท เกณฑ์ เทคนิคและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทฤษฎีหรือแนวคิด หลักการและกฎทางวิทยาศาสตร์ สามารถระบุหรือบ่งชี้ความรู้เมื่อปรากฏอยู่ในรูปใหม่และการแปลความรู้จากสัญลักษณ์หนึ่งไปสู่อีกสัญลักษณ์หนึ่ง

2) กระบวนการสืบสอบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Processes of scientific inquiry) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ในกระบวนการสืบสอบความรู้สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมย่อย ๆ ต่อไปนี้

2.1) กระบวนการสืบสอบความรู้ขั้นที่ 1 การสังเกตและการวัด เช่น การสังเกตวัตถุ และปรากฏการณ์ต่างๆ การบรรยายการสังเกตด้วยภาษาที่เหมาะสม เป็นต้น

2.2) กระบวนการสืบสอบความรู้ขั้นที่ 2 การมองเห็นปัญหาและวิธีการแก้ปัญหา เช่น การมองเห็นปัญหาต่าง ๆ การตั้งสมมติฐาน เป็นต้น

2.3) กระบวนการสืบสอบความรู้ขั้นที่ 3 การแปลความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป เช่น การจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การบันทึกข้อมูล เป็นต้น

2.4) กระบวนการสืบสอบความรู้ขั้นที่ 4 การสร้าง การทดสอบ และการแก้ไขแบบจำลองทางทฤษฎี เช่น การจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) การนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ (Application of scientific knowledge and methods) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับการนำไปใช้แก้ปัญหาที่เป็นเรื่องของวิทยาศาสตร์และปัญหาที่นอกเหนือไปจากเรื่องของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4) ทักษะปฏิบัติการในการใช้เครื่องมือ (Manual skills) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องพัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือปฏิบัติการทั่วๆ ไป การใช้เทคนิคการปฏิบัติการด้วยความระมัดระวังและให้เกิดความปลอดภัย

5) เจตคติและความสนใจ (Attitudes and interests) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับเจตคติที่ดีและความสนใจต่อวิทยาศาสตร์ เกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ การเกิดความสนุกสนานต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ความพอใจในประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ การพัฒนาความสนใจในวิทยาศาสตร์หรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาความสนใจที่จะมีอาชีพทางวิทยาศาสตร์

6) การมีแนวโน้มทางวิทยาศาสตร์ (Orientation) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการให้ผู้เรียนมีจิตใจเป็นนักวิทยาศาสตร์ มีโลกทัศน์ที่กว้างและสามารถปรับตัวได้ดี

สุวัฒน์ นิยมค้า (2531) จำแนกองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์จากจุดประสงค์ของการสอนวิทยาศาสตร์ หรือพฤติกรรมการเรียนรู้อันเป็นผลมาจากการเรียนวิทยาศาสตร์ออกเป็น 4 ด้าน คือ 1) ด้านความรู้และความคิด 2) ด้านทักษะการปฏิบัติ 3) ด้านความสนใจและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ และ 4) ด้านการมีแนวโน้มทางวิทยาศาสตร์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ด้านความรู้และความคิด ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1.1) ความรู้ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงปลีกย่อยเฉพาะราย ความรู้เกี่ยวกับคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับเทอมข้อตกลงที่ใช้ในวิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับลำดับขั้นตอนและแนวโน้ม ความรู้เกี่ยวกับการจัดประเภทและเกณฑ์ที่ใช้ ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคทางวิทยาศาสตร์และวิธีการที่ใช้ ความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับหลักการและกฎวิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือแนวคิดสำคัญ

1.2) ความเข้าใจ ได้แก่ ความสามารถในการอธิบายและยกตัวอย่างประกอบความสามารถในการแปลความหมายของความรู้จากรูปแบบหนึ่งไปสู่อีกรูปแบบหนึ่งและความสามารถในการคงความเข้าใจในความรู้นั้น แม้จะถูกนำไปใช้ในเรื่องอื่นก็ตาม

1.3) ทักษะการคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยทักษะการคิด ได้แก่ ความสามารถในการมองเห็นปัญหา ความสามารถในการตั้งปัญหา ส่วนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ทักษะการสังเกต ทักษะการวัด ทักษะการคำนวณ ทักษะการจำแนกประเภท ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติของวัตถุกับเวลา ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและการสื่อความหมาย ทักษะการลงความเห็น ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการทดลอง ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการแปลความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ทักษะการพยากรณ์

1.4) การนำความรู้และทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหา ได้แก่ การนำไปใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกับที่เรียนมาแล้ว แต่เปลี่ยนสถานการณ์ใหม่ในสาขาวิชาเดียวกันการนำไปใช้แก้ปัญหาที่แปลกใหม่ในวิทยาศาสตร์ด้วยกันและในสาขาวิชาเดียวกัน การนำไปใช้แก้ปัญหาที่แปลกใหม่ในวิทยาศาสตร์ด้วยกัน แต่ต่างสาขากัน และการนำไปใช้แก้ปัญหานอกเหนือสาขาวิทยาศาสตร์

2) ด้านทักษะการปฏิบัติ ประกอบด้วยทักษะการสังเกต ทักษะการวัด ทักษะการติดตั้งเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ทักษะการใช้เทคนิควิธีในการปฏิบัติการด้วยความปลอดภัย ทักษะการทดลองและการนำทักษะการปฏิบัติไปใช้ในการแก้ปัญหา

3) ด้านความสนใจและเจตคติทางวิทยาศาสตร์

3.1) ความสนใจในวิทยาศาสตร์ ได้แก่ มีความสนใจการอ่านเรื่องราวทางวิทยาศาสตร์ มีความสนใจในการเข้าร่วมกิจกรรมวิทยาศาสตร์ มีความชื่นชมยินดีในผลงานวิทยาศาสตร์ และมีความสนใจในการประกอบอาชีพทางวิทยาศาสตร์ต่อไป

3.2) เจตคติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ มีความอยากรู้อยากเห็น ชอบสงสัย และชอบซักถาม มีเหตุผล ไม่เชื่ออะไรที่ไม่สมเหตุสมผล มีใจกว้าง ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นและเปลี่ยนความคิดเมื่อมีหลักฐานอื่นดีกว่า มีความซื่อตรง ยึดความถูกต้องตามความเป็นจริงเป็นหลัก มีความพยายามและความอดทนในการค้นหาคำตอบ มีการพิจารณาอย่างรอบคอบก่อนที่จะตัดสินใจลงข้อสรุปใดๆ ไม่โอ้อวด และไม่เชื่อสิ่งที่อยู่เหนือธรรมชาติ

4) ด้านการมีแนวโน้มทางวิทยาศาสตร์ (ธรรมชาติ ข้อจำกัด และผลกระทบของวิทยาศาสตร์) ได้แก่ การยอมรับในหลักความจริงพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจในธรรมชาติและความสัมพันธ์ของความรู้วิทยาศาสตร์ประเภทต่างๆ การยอมรับความรู้วิทยาศาสตร์โดยลำดับนั้น เป็นผลของการสืบต่อความรู้ของนักวิทยาศาสตร์รุ่นก่อน การยอมรับในข้อจำกัดและขอบเขตของวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจในผลกระทบของวิทยาศาสตร์ต่อมวลมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) จำแนกองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ตามเป้าหมายที่ต้องการวัดและประเมินผลจากพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน ออกเป็น 3 ด้าน คือ 1) ความรู้ความคิด 2) กระบวนการเรียนรู้ และ 3) เจตคติ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ความรู้ความคิด หมายถึง ความรอบรู้ในหลักการ ทฤษฎี ข้อเท็จจริง เนื้อหา หรือแนวคิดหลัก ซึ่งความรู้ความคิดแบ่งออกเป็น 6 ด้าน โดยแต่ละด้านสามารถประเมินได้จากพฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียน ดังนี้

1.1) ความรู้ความจำ คือ การรู้ข้อเท็จจริง จำได้ หรือระลึกถึงข้อมูลหรือข้อสารสนเทศ

1.2) ความเข้าใจ คือ การมีความเข้าใจและสามารถอธิบายได้

1.3) การนำไปใช้ คือ การนำความรู้ไปใช้กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

1.4) การวิเคราะห์ คือ การแยกแนวคิดหลักที่ซับซ้อนออกเป็นส่วนๆ ให้เข้าใจได้ง่าย

1.5) การสังเคราะห์ คือ การรวบรวมความรู้และข้อเท็จจริงเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่

1.6) การประเมินค่า คือ การตัดสินใจเลือก

2) กระบวนการเรียนรู้ หมายถึง ความสามารถในการลงมือปฏิบัติจริงที่แสดงออกถึงทักษะเชาวน์ปัญญาและทักษะปฏิบัติ โดยกระบวนการเรียนรู้แบ่งเป็น 2 ด้าน ดังนี้

2.1) ทักษะปฏิบัติ ได้แก่ การรับรู้ เตรียมความพร้อม การตอบสนอง การฝึกฝน การปฏิบัติจนทำได้ การเชื่อมโยงทักษะ

2.2) กระบวนการเรียนรู้ ได้แก่ การสืบสอบความรู้วิทยาศาสตร์ การแก้ปัญหา การสื่อสาร การนำความรู้ไปใช้

3) เจตคติ หมายถึง จิตสำนึกของบุคคลที่ก่อให้เกิดลักษณะนิสัยหรือความรู้สึกทางจิตใจ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนควรได้รับการประเมินเจตคติ 2 ด้าน ดังนี้

3.1) เจตคติทางวิทยาศาสตร์ คือ ลักษณะนิสัยของผู้เรียนที่คาดหวังจะได้รับการพัฒนาในตัวผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

3.2) จิตวิทยาศาสตร์ คือ ความรู้สึกที่ผู้เรียนมีต่อการทำกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยกิจกรรมที่หลากหลาย

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2548) จำแนกองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 ด้าน คือ 1) ด้านพุทธิพิสัย 2) ด้านจิตพิสัย และ 3) ด้านทักษะพิสัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ด้านพุทธิพิสัย ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ด้านวิชาการตามหลักการของ Klopfer วัดได้จากพฤติกรรม 4 ด้าน ดังนี้

1.1) พฤติกรรมด้านความรู้ หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงว่านักเรียนมีความจำเรื่องต่าง ๆ ที่ได้รับรู้จากการค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการอ่านหนังสือและการฟังคำบรรยาย เป็นต้น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แบ่งเป็น 9 ประเภท คือ ความรู้เดี่ยว (Fact) มโนทัศน์ (Concept) หลักการและกฎวิทยาศาสตร์ (Principle and law) ข้อตกลง (Assumption) ลำดับขั้นตอนของปรากฏการณ์ต่างๆ เกณฑ์ในการแบ่งประเภทของสิ่งต่างๆ เทคนิคและกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์ ศัพท์วิทยาศาสตร์ และทฤษฎี

1.2) พฤติกรรมด้านความเข้าใจ หมายถึง พฤติกรรมที่นักเรียนใช้ความคิดที่สูงกว่าความรู้ความจำ แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ความเข้าใจข้อเท็จจริง วิธีการ กฎเกณฑ์ หลักการ และทฤษฎีต่างๆ คือ เป็นการบรรยายในรูปแบบใหม่ที่แตกต่างจากที่เคยเรียนมา

2. ความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลความหมายของข้อเท็จจริง คำศัพท์ มโนมติ หลักการ และทฤษฎีที่อยู่ในรูปของสัญลักษณ์หนึ่งไปเป็นรูปของสัญลักษณ์อื่นได้

1.3) พฤติกรรมด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมที่นักเรียนแสวงหาความรู้ และแก้ปัญหาด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งการดำเนินการต้องอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์

1.4) พฤติกรรมด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ หมายถึง พฤติกรรมที่นักเรียนนำความรู้ มโนทัศน์ หลักการ กฎ ทฤษฎี ตลอดจนวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหาสถานการณ์ใหม่ได้ โดยสามารถแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 3 ประเภท คือ

1. แก้ปัญหาที่เป็นเรื่องของวิทยาศาสตร์ในสาขาเดียวกัน ส่วนมากเป็นสถานการณ์ทั่วไปในชั้นเรียนที่ผู้เรียนต้องนำความรู้ หรือทักษะที่ได้จากการเรียนไปใช้แก้ปัญหาเรื่องอื่นที่อยู่ในวิชาเดียวกัน

2. แก้ปัญหาที่เป็นเรื่องของวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ซึ่งเป็นปัญหาเดียวกันแต่เกี่ยวข้องกับวิชาวิทยาศาสตร์ 2 สาขาขึ้นไป

3. แก้ปัญหาที่นอกเหนือจากเรื่องของวิทยาศาสตร์ ปัญหาที่นอกเหนือไปจากเรื่องของวิทยาศาสตร์นั้นหมายถึงเรื่องเทคโนโลยี

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ด้านจิตพิสัย เป็นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เน้นด้วยความสนใจ ความซาบซึ้ง เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ด้านทักษะพิสัย เป็นผลสัมฤทธิ์ที่เน้นความชำนาญในการปฏิบัติและดำเนินการ เช่น การใช้เครื่องมือต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ ขณะทำการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า องค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่หน่วยงาน นักวิชาการ และนักการศึกษาระบุไว้ปรับมาจากแนวคิดการแบ่งองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของ Klopfer (1971) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบตามลักษณะพฤติกรรมการเรียนรู้ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านพุทธิพิสัย ประกอบด้วยความรู้ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ 2) ด้านจิตพิสัย ประกอบด้วยทักษะการปฏิบัติและกระบวนการเรียนรู้ และ 3) ด้านทักษะพิสัย ประกอบด้วยความสนใจและเจตคติ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากเอกสารที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

องค์ประกอบ	ผู้ที่ศึกษา และปีที่ศึกษา			
	(Klopfer, 1971)	สุวัฒก์ นิยมค้า (2531)	สสวท (2546)	พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2548)
ด้านพุทธิพิสัย	1) ความรู้ความเข้าใจ 2) กระบวนการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ 3) การนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	1) ความรู้ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) ทักษะการคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 4) การนำความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหา	1) ความรู้ 2) ความเข้าใจ 3) การนำไปใช้ 4) การวิเคราะห์ 5) การสังเคราะห์ 6) การประเมินค่า	1) ความรู้ 2) ความเข้าใจ 3) กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 4) การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้
ด้านทักษะพิสัย	ทักษะการปฏิบัติ	ทักษะการปฏิบัติ	กระบวนการเรียนรู้	ทักษะพิสัย
ด้านจิตพิสัย	ความสนใจและเจตคติ	ความสนใจและเจตคติทางวิทยาศาสตร์	เจตคติ	จิตพิสัย

2.3 แนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีนักวิชาการ และนักการศึกษาระบุแนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) แบ่งประเภทของแบบสอบที่ครูสร้างขึ้นเองและนิยมใช้ประกอบด้วย 6 แบบดังนี้

1) ข้อสอบแบบอัตนัยหรือความเรียง เป็นข้อสอบที่มีเฉพาะคำถาม แล้วให้นักเรียนเขียนตอบอย่างเสรี เขียนบรรยายตามความรู้ และข้อคิดเห็นของแต่ละคน

2) ข้อสอบแบบถูกผิด เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบที่มี 2 ตัวเลือก แต่ตัวเลือกดังกล่าวเป็นแบบคงที่และมีความหมายตรงกันข้าม เช่น ถูก-ผิด ใช่-ไม่ใช่ จริง-ไม่จริง เหมือน-ต่างกัน เป็นต้น

3) ข้อสอบแบบเติมคำ เป็นข้อสอบที่ประกอบด้วยประโยคหรือข้อความที่ยังไม่สมบูรณ์แล้วให้ผู้ตอบเติมคำ หรือประโยค หรือข้อความลงในช่องว่างที่เว้นไว้นั้น เพื่อให้มีใจความสมบูรณ์และถูกต้อง

4) ข้อสอบแบบตอบสั้น ข้อสอบประเภทนี้มีความคล้ายกับข้อสอบแบบเติมคำ แต่แตกต่างกันที่ข้อสอบแบบตอบสั้น เขียนเป็นประโยคคำถามสมบูรณ์ แล้วให้ผู้ตอบเป็นคนเขียนตอบ คำตอบที่ต้องการจะสั้นและกะทัดรัดได้ใจความสมบูรณ์ ไม่ใช่เป็นการบรรยายแบบข้อสอบอัตนัยหรือความเรียง

5) ข้อสอบแบบจับคู่ เป็นข้อสอบเลือกตอบชนิดหนึ่ง โดยมีคำหรือข้อความแยกออกจากกันเป็น 2 ชุด แล้วให้ผู้ตอบเลือกจับคู่ว่า แต่ละข้อความในชุดหนึ่ง (ตัวยืน) จะคู่กับคำหรือข้อความใดในอีกชุดหนึ่ง (ตัวเลือก) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างใดอย่างหนึ่ง ตามที่ผู้ออกข้อสอบกำหนดไว้

6) ข้อสอบแบบเลือกตอบ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ตอน คือ ตอนนำหรือคำถาม (Stem) กับตอนเลือก (Choice) ในตอนเลือกนี้จะประกอบด้วยตัวเลือกที่เป็นคำตอบที่ถูกและตัวเลือกที่เป็นตัวลวง ปกติจะมีคำถามที่กำหนดให้นักเรียนพิจารณา แล้วหาตัวเลือกที่ถูกต้องมากที่สุดเพียงตัวเลือกเดียวจากตัวเลือกอื่นๆ และคำถามแบบเลือกตอบที่ดี นิยมใช้ตัวเลือกที่ใกล้เคียงกัน ดูเผิน ๆ จะเห็นว่าทุกตัวเลือกถูกหมด แต่ความจริงมีน้ำหนักถูกมากน้อยต่างกัน

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2548) ได้เสนอแนวทางการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยใช้เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการสอบ คือ แบบทดสอบปรนัยวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านพุทธพิสัย แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) แบบถูก-ผิด (True-false) เป็นแบบทดสอบที่กำหนดให้ผู้ตอบชี้ว่า ข้อความที่กำหนดให้นั้นถูกหรือผิด แบบทดสอบแบบนี้มักไม่นิยมใช้ เพราะนักเรียนมีทางเลือกได้เพียง 2 ทางเท่านั้น คือ

ถูกหรือผิด ทำให้นักเรียนมีโอกาสเดา ถูกได้ง่ายแบบทดสอบนี้ยังยากแก่การปรับปรุงให้มีคุณภาพสูงขึ้นได้ และการถามวัดสมรรถภาพสมองได้ไม่ลึกซึ้งตามหลักสูตรต้องการ

2) แบบจับคู่ (Matching) แบบนี้กำหนดข้อความไว้ 2 ตอน ให้มีความสัมพันธ์กัน แล้วให้นักเรียนจับคู่ในความสัมพันธ์นั้นๆ แบบทดสอบนี้ยังนับว่าพอใช้ได้ เพราะตัวเลือกมีหลายตัว เดาถูกได้ยากอีก และถ้าจะนำมาใช้สอบวัดให้ผลดี ควรพิจารณาในเรื่องต่อไปนี้

2.1) ตัวคำถามกับคำตอบที่จะเข้าคู่กันนั้นกะทัดรัดดีหรือยัง คือ เมื่อนำมาต่อกันแล้วอ่านได้ความชัดเจนเหมาะสม

2.2) เรื่องราวที่เอามาถามควรเป็นเรื่องเดียวกัน

2.3) แต่ละชุดควรมีคำถามระหว่าง 5 ถึง 8 ข้อ ถ้ามากเกินกว่านั้นนักเรียนจะสับสน

2.4) มีตัวที่จะใช้เป็นคู่คำตอบมากกว่าตัวคำถาม 2-3 ตัว

2.5) ถ้าต้องการให้นักเรียนใช้คำตอบซ้ำข้อกันได้ ต้องบอกไว้ชัดเจน

3) แบบเติมคำหรือความให้สมบูรณ์ (Completion type) แบบทดสอบแบบนี้จะเว้นข้อความสำคัญของประโยคนั้นไว้ แล้วให้ผู้ตอบหามาเติมให้สมบูรณ์

4) แบบเลือกตอบ (Multiple choice) เป็นแบบที่มีคำถามแล้วมีคำตอบให้เลือก 3-4 ตัว โดยให้เลือกคำตอบตัวที่ถูกต้องที่สุดกว่าตัวอื่นเพียงคำตอบเดียว ส่วนอีก 3-4 ตัวนั้นก็เป็นตัวลวงไป แบบทดสอบนี้ปัจจุบันถือว่าเป็นแบบทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เพราะออกสอบวัดได้ครอบคลุมหลักสูตร และยังสามารถนำมาคำนวณหาค่าของความยากง่าย ค่าของความเชื่อมั่น ค่าของความเที่ยงตรง เพื่อหาทางปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย

จากการศึกษาแนวการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสามารถวัดและประเมินได้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งมีลักษณะของข้อสอบแตกต่างกัน 5 แบบ ได้แก่ 1) ข้อสอบอัตนัยหรือความเรียง ซึ่งให้นักเรียนบรรยายความรู้หรือถามข้อคิดเห็น 2) ข้อสอบถูกผิด ซึ่งให้นักเรียนเลือกตอบจาก 2 ตัวเลือก คือ ถูกหรือผิด 3) ข้อสอบจับคู่ ซึ่งให้นักเรียนจับคู่ข้อความจากตัวเลือกและตัวยืน 4) ข้อสอบเติมคำ ซึ่งเป็นข้อสอบที่เว้นคำตอบเพื่อให้ผู้ตอบเติมคำให้มีใจความสมบูรณ์ และ 5) ข้อสอบแบบเลือกตอบ ซึ่งมีหลายตัวเลือกให้ผู้ตอบเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด (Representation construction approach) ในงานวิจัยนี้แบ่งประเด็นในการนำเสนอออกเป็น 4 ประเด็น ได้แก่ 1) แนวคิดและทฤษฎีที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 2) ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 3) หลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด 4) ตัวอย่างการสอนตามหลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ดังนี้

3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดได้กล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดไว้ 2 ทฤษฎี ได้แก่ 1) ทฤษฎีสรรคนิยม และ 2) ทฤษฎีเครื่องหมายของเพอร์ซ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

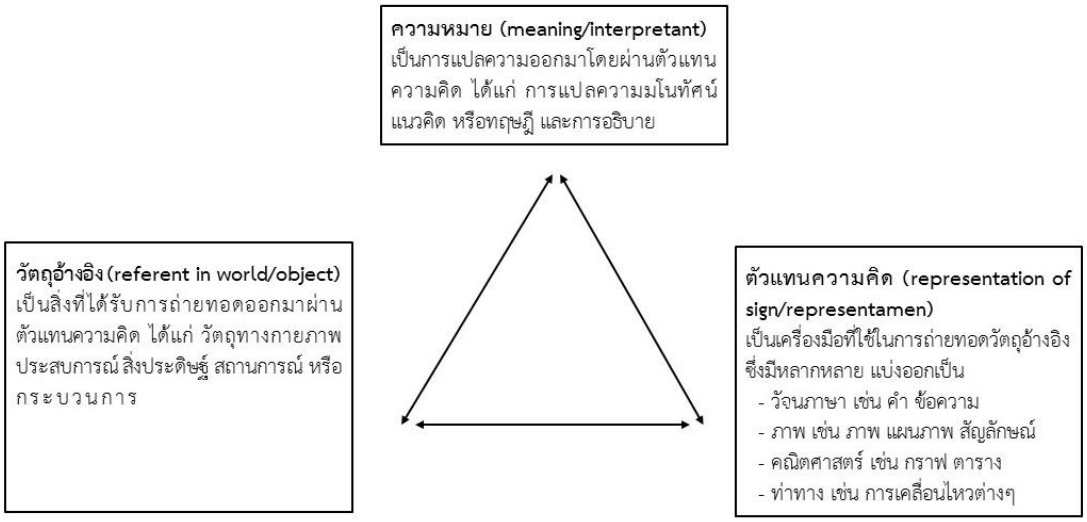
3.1.1 ทฤษฎีสรรคนิยม (Constructivism theory)

ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์มีรากฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการทางเชาว์ปัญญาของ Piaget ที่อธิบายว่า โครงสร้างทางสติปัญญา (Schema) ของบุคคลมีการพัฒนาผ่านกระบวนการดูดซับหรือซึมซับ (Assimilation) และกระบวนการปรับโครงสร้างทางสติปัญญา (Accommodation) เพื่อให้บุคคลอยู่ในสภาวะสมดุล ทฤษฎีนี้ให้ความสำคัญกับกระบวนการและวิธีการของบุคคลในการแปลความหมายและสร้างความรู้ความเข้าใจจากประสบการณ์ต่าง ๆ ซึ่งการแปลความหมายของแต่ละบุคคลจะขึ้นอยู่กับการรับรู้ ประสบการณ์ ความเชื่อความต้องการ ความสนใจและภูมิหลังของแต่ละบุคคลซึ่งมีความแตกต่างกัน (ทิศนา แขมมณี, 2552) ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีสรรคนิยม คือ นักเรียนเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ โดยการลงมือปฏิบัติในการจัดกระทำเกี่ยวกับตัวแทนความคิดด้วยตนเอง เพื่อสำรวจค้นหาหรือระบุเกี่ยวกับปรากฏการณ์ สร้างความหมายของข้อมูลความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ รวมถึงเน้นการเรียนรู้โดยให้นักเรียนร่วมมือกันอภิปรายตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น สื่อสารระหว่างกัน เพื่อให้นักเรียนได้ขยายมุมมองและสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Jia, 2010)

3.1.2 ทฤษฎีเครื่องหมายของเพอร์ซ (Peircean Theory of Sign / theoretical perspectives)

ทฤษฎีเครื่องหมายของเพอร์ซ สร้างขึ้นโดย Charles Sander Peirce ซึ่งได้ระบุถึงลักษณะสำคัญของสัญศาสตร์ไว้ว่า สัญศาสตร์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือตัวแทนความคิด ซึ่งสัญลักษณ์จะเกิดความหมายก็ต่อเมื่อมีการแปลความหมายข้อมูล เพื่อทำให้เกิดการสร้าง

ความหมาย (Signification) โดยองค์ประกอบในการสร้างความหมายจากแบบจำลองของ Peirce (Peirce's triadic model) ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ตัวแทนความคิด (Representation of sign or signifier/ representamen) 2) ความหมาย (Meaning/ interpretant) และ 3) วัตถุอ้างอิงในโลก (Referent in world/ object) แสดงรายละเอียดในแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 องค์ประกอบของสัญศาสตร์ตามแนวคิดของ Peirce
(ดัดแปลงจาก Peirce's triadic model) (Carolan, Prain, & Waldrip, 2008)

3.2 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด (Representation construction approach) เป็นแนวการสอนที่พัฒนามาจากงานวิจัยของโครงการ Recent Australian Research Council (ARC) funded projects ในประเด็นของตัวแทนความคิดในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ Representations in Learning Science (RILS 2007-2010) และโครงการ Creating Representations in Science Pedagogy (CRISP 2012-2015) แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเป็นแนวการสอนที่ได้รับการพัฒนามาจากการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนโดยอาศัยกระบวนการสืบสอบเป็นฐาน ซึ่งทำให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้จากการฝึกปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีเป้าหมายในการพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาสมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับตัวแทนความคิดในการเรียนรู้ (Tytler, Prain, et al., 2013)

แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดประกอบไปด้วยการกระตุ้นให้นักเรียนสร้างและอภิปรายเพื่อลงความเห็นเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น อันจะนำไปสู่การสำรวจค้นหาและสร้างข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปรากฏการณ์ ซึ่งผลจากการใช้แนวการสอนนี้แสดงให้เห็นถึงผลสำเร็จในการเพิ่มผลลัพธ์

ทางการเรียนรู้ของนักเรียน ในรูปแบบของการเพิ่มแนวคิดที่คงทนของนักเรียน เพิ่มคุณภาพของการเรียนรู้ และสำหรับครูในการเพิ่มความรู้เกี่ยวกับศาสตร์การสอน (Pedagogical knowledge) (Tytler, Prain, et al., 2013)

โครงการ RILS (2007-2010) หรือโครงการที่นำมาสู่การพัฒนาแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด (Representation construction approach) มีวัตถุประสงค์ของโครงการ ดังนี้

1) เพื่อพัฒนาแนวการสอนโดยเน้นไปยังประเด็นของตัวแทนความคิดในการสนับสนุนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์

2) เพื่อพัฒนาการปฏิบัติที่เป็นตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวแทนความคิด

3) เพื่อระบุการเรียนรู้ที่นักเรียนจะได้รับจากแนวการสอนนี้

4) เพื่อสำรวจตรวจสอบความท้าทายในการใช้แนวการสอนนี้

3.3 หลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดสำหรับการสอนและการเรียนรู้

หลักการของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ประกอบด้วย 4 หลักการ คือ 1) การลำดับตัวแทนความคิด 2) การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน 3) การเรียนรู้อย่างมีความหมาย และ 4) การประเมินผ่านตัวแทนความคิด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) การลำดับตัวแทนความคิด (Teaching sequences are based on sequences of representation) นักเรียนสร้างตัวแทนความคิดเพื่อสำรวจและค้นหา (Explore) และสร้างข้อกล่าวอ้าง (Claim) เกี่ยวกับปรากฏการณ์ ประกอบด้วย 3 หลักการย่อย ดังนี้

ก. ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก (Clarifying the representational resources underpinning key concepts) โดยครูระบุแนวคิดหลัก มโนทัศน์ที่สำคัญ และตัวแทนความคิดที่ใช้สนับสนุนแนวคิดหรือมโนทัศน์หลักนั้น

ข. ตัวแทนความคิดที่ต้องการสร้าง (Establishing a representational need) นักเรียนสำรวจและค้นหา ระบุปัญหาของปรากฏการณ์ และระบุตัวแทนความคิดที่นำมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ ก่อนที่จะนำมาสู่รูปแบบของตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์

ค. ตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างและตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับ (Coordinating aligning student-generated and canonical representations) นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยการรวบรวมตัวแทนความคิดจากหลายวิธีการ

(Modes) นักเรียนเปรียบเทียบตัวแทนความคิดที่ครูชี้แนะและตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น เพื่อนำไปสู่การอธิบาย การแก้ปัญหา การปรับปรุงและการขยายความเข้าใจของนักเรียน

2) การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน (Representations are explicitly discussed) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายตัวแทนความคิดในห้องเรียน เพื่อให้นักเรียนช่วยกันวิจารณ์ตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย 4 หลักการย่อย ดังนี้

ก. การเลือกวัตถุประสงค์ของตัวแทนความคิด (The selective purpose of any representation) นักเรียนเลือกตัวแทนความคิดที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของมโนทัศน์

ข. การลงความเห็นกลุ่มเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น (Group agreement on generative representation) นักเรียนวิจารณ์ตัวแทนความคิดในประเด็นของความชัดเจน (Clarity) ความครอบคลุม (Comprehensive) และการอธิบาย (Explanation) เพื่อการตัดสินใจเลือกตัวแทนความคิด

ค. รูปแบบและหน้าที่ (Form and function) ครูและนักเรียนเน้นไปที่หน้าที่และรูปแบบของตัวแทนความคิดร่วมกับการพิจารณาเวลาที่ใช้

ง. ความเพียงพอของตัวแทนความคิด (The adequacy of representations) ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างขึ้น

3) การเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning) ตัวแทนความคิดต้องมีบริบทจากประสบการณ์ และคำนึงถึงความสนใจของนักเรียนผ่านตัวเลือกของภาระงาน และสนับสนุนการเป็นตัวแทน ประกอบด้วย 2 หลักการย่อย ดังนี้

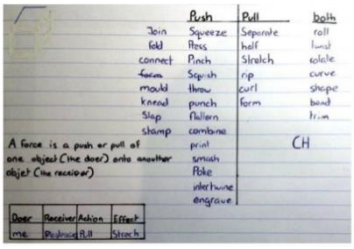
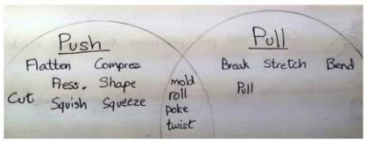
ก. บริบทการรับรู้ (Perceptual context) ลำดับของกิจกรรมจะต้องมีบริบทการรับรู้ที่ชัดเจน (เช่น การลงมือปฏิบัติ การทดลอง) และสิ่งที่นักเรียนสังเกตได้จากวัตถุและตัวแทนความคิดต้องมีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน

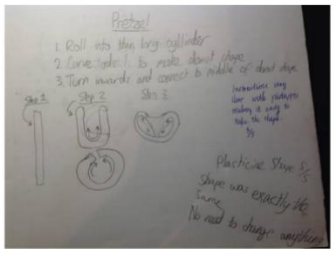
ข. การกระตุ้นความสนใจและการเป็นตัวแทน (Engagement and agency) ลำดับกิจกรรมเน้นไปที่การสร้างความสนใจของนักเรียนในการเรียนรู้ที่มีผลต่อการสร้างความหมายของการเรียนรู้ส่วนบุคคล โดยกิจกรรมที่ใช้อาจมาจากกิจกรรมที่นักเรียนสนใจหรือพึงพอใจ

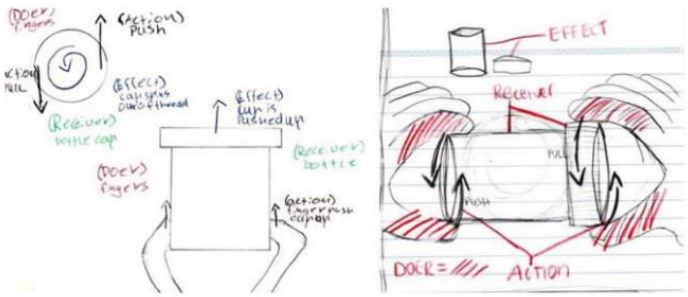
4) การประเมินผ่านตัวแทนความคิด (Assessment through representations) ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินตัวแทนความคิดในส่วนของความเพียงพอของตัวแทนความคิดที่ใช้สำหรับการอธิบาย

3.4 ตัวอย่างการสอนตามหลักการที่สนับสนุนแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

3.4.1 เรื่องแรง (Tytler, Prain, et al., 2013)

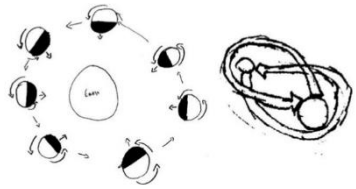
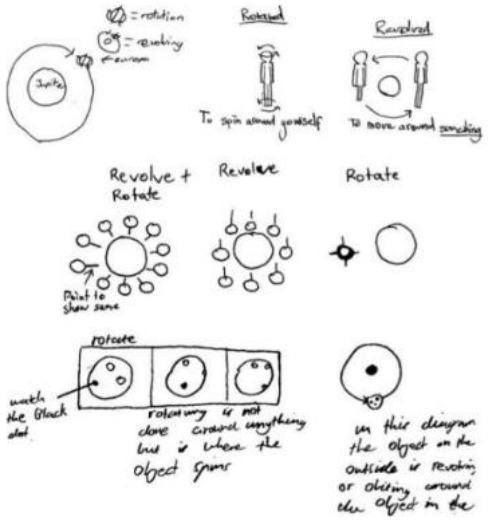
ลำดับการเรียนการสอน	หลักการ
1. ครูวางแผนมโนทัศน์หลักของเรื่องแรง โดยการระบุมโนทัศน์ว่าแรง คือ การกระทำ โดยมีผู้กระทำ (Doer) ออกแรงผลัก (Push) หรือแรงดึง (Pull) แก่ผู้รับ (Receiver)	**หลักการ 1ก.** ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก
2. บทเรียนเริ่มต้นขึ้นด้วยการระดมความคิดของนักเรียนทั้งห้อง เพื่อสร้างคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการกระทำในชีวิตประจำวัน โดยให้นักเรียนจัดการกับก้อนดินน้ำมันในกิจกรรม “เปลี่ยนรูปร่างดินน้ำมัน” แล้วให้นักเรียนบันทึกคำศัพท์	
3. ครูเน้นย้ำคำศัพท์ที่นักเรียนสร้างขึ้นอีกครั้ง โดยใช้ท่าทางประกอบเพื่อแสดงความหมายและให้นักเรียนทำตาม และให้นักเรียนระบุคำศัพท์เกี่ยวกับการกระทำที่นักเรียนสร้างขึ้น	
4. จากคำศัพท์ที่ระบุไว้นั้น ครูให้นักเรียนจัดกลุ่มคำศัพท์เป็น 2 กลุ่ม คือ แรงผลักและแรงดึง เพื่อเชื่อมโยงระหว่างคำศัพท์ที่นักเรียนใช้ในชีวิตประจำวันและคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ โดยการใช้ตัวแทนความคิดแบบต่างๆ ซึ่งนักเรียนระบุตัวแทนความคิดออกมาเป็นรูปแบบของตาราง และแผนภาพเวนน์ (Venn diagram) ดังภาพ   ภาพแสดงรูปแบบตัวแทนความคิดที่นักเรียนแสดงออก	

ลำดับการเรียนการสอน	หลักการ
5. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายในห้องเรียนถึงความเหมือนและความแตกต่างของนักเรียนในการจัดจำแนกคำศัพท์ว่าตัวแทนความคิดรูปแบบใดที่มีความเหมาะสมมากกว่า โดยนักเรียนทั้งห้องเรียนเห็นด้วยว่าตัวแทนความคิดแบบแผนภาพเวนน์ มีความเหมาะสมสำหรับการเป็นตัวแทน	**หลักการ 2ค.** รูปแบบและหน้าที่
6. นักเรียนสร้างแผนภาพเวนน์	**หลักการ 1ข.** ตัวแทนความคิดที่ต้องการสร้าง
7. ครูนำเข้าสู่มุมมองที่นักเรียนบันทึกว่า “แรงคือการผลักหรือการดึงวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่ง” จากนั้นนักเรียนมีมุมมองว่า “แรงเป็นการกระทำโดยการผลักหรือการดึง” จากคำศัพท์ในชีวิตประจำวันที่ทำในกิจกรรมระดมความคิด	
8. ครูให้นักเรียนแสดงตัวแทนความคิด โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของก้อนดินน้ำมัน และบันทึกการกระทำที่นักเรียนจัดกระทำกับก้อนดินน้ำมัน	
9. ให้นักเรียนจับคู่ โดยนักเรียนคนแรกทำให้ก้อนดินน้ำมันเปลี่ยนแปลงรูปร่าง นักเรียนคนที่สองทำตาม จากนั้นนักเรียนแต่ละคนจดบันทึกข้อคิดเห็น ดังภาพ  ภาพแสดงการจดบันทึกของนักเรียน	

ลำดับการเรียนการสอน	หลักการ
10. การอภิปรายตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างขึ้น เกิดจากการให้นักเรียนจับคู่อภิปราย และให้นักเรียนทั้งห้องเรียนร่วมกันอภิปรายตัวแทนความคิดผ่านการแนะนำของครู จากการอภิปรายนำไปสู่การใช้แผนภาพและลูกศรเพื่อแสดงการกระทำของแรง	**หลักการ 2ง.** ความเพียงพอของตัวแทนความคิด **หลักการ 4** การประเมินผ่านตัวแทนความคิด
11. จากกิจกรรม และกิจกรรมย่อยนี้ ครูประสานแนวทางร่วมกันสำหรับตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างขึ้นและนำไปสู่ตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์สำหรับเรื่องแรง	**หลักการ 1ค.** ตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างและตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับ
12. หลังจากบทเรียนนักเรียนควรอธิบายการกระทำในชีวิตประจำวันผ่านแผนภาพเรื่องแรง เช่น การให้นักเรียนแสดงแรงที่ใช้ในการเปิดกระป๋อง ดังภาพ  ภาพแสดงแผนภาพที่นักเรียนสร้างขึ้น	**หลักการ 3ก.** บริบทการรับรู้ **หลักการ 3ข.** การกระตุ้นความสนใจและการเป็นตัวแทน

3.4.2 เรื่องการโคจรของโลก ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์ (Tytler, Prain, et al., 2013)

ลำดับการเรียนการสอน	หลักการ
1. ครูวางแผนของหัวข้อเรื่อง คือ การหมุนของดวงดาว เช่น การเกิดกลางวันกลางคืน การเกิดฤดูกาล และปรากฏการณ์ข้างขึ้น ข้างแรม ซึ่งนักเรียนจำเป็นจะต้องเข้าใจการเคลื่อนที่ของวัตถุบนท้องฟ้าที่ทำให้เกิดการหมุนหรือการโคจร เพื่อทำให้เกิดตัวแทนความคิดที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์	**หลักการ 1ก.** ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก
2. ครูเริ่มบทเรียนด้วยการกระตุ้นให้นักเรียนแสดงความเข้าใจของการหมุนและการโคจรผ่านการกระทำทางกายภาพโดยใช้ร่างกาย และให้นักเรียนแสดงความเข้าใจผ่านบทบาทสมมติเป็นคู่ และกระตุ้นตัวแทนความคิดของนักเรียน โดยใช้คำถามดังนี้ 2.1 ดวงจันทร์มีด้านหนึ่งที่หันเข้าหาโลก และมีระยะเวลาการโคจรรอบโลก 1 เดือน และจะมีการหมุนด้วย แล้วถ้าอย่างนั้นดวงจันทร์มีการหมุนกี่ครั้งใน 1 เดือน 2.2 เป็นไปได้หรือไม่ว่าโลกและดวงจันทร์มีการโคจรรอบๆ ซึ่งกันและกัน	
3. หลังจากนั้นให้นักเรียนหลายๆ คู่ออกมาแก้ปัญหาจากคำถามที่ครูสร้างขึ้นผ่านการใช้บทบาทสมมุติเป็นเครื่องมือสำหรับการให้เหตุผลดังกล่าว	
4. นักเรียนในห้องเรียนประเมินตัวแทนความคิดของนักเรียนแต่ละคู่ผ่านการอภิปราย ซึ่งจะนำมาสู่การกระตุ้นว่า 4.1 การหมุนใน 1 รอบของดวงจันทร์ทำให้เกิดเดือน 4.2 เป็นไปได้ว่าทั้งโลกและดวงจันทร์มีการโคจรรอบๆ ซึ่งกันและกัน	**หลักการ 2ข.** การลงความเห็นกลุ่มเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น **หลักการ 2ง.** ความเพียงพอของตัวแทนความคิด

ลำดับการเรียนการสอน	หลักการ
5. ครูนำเสนอระบบการเคลื่อนที่ของดวงดาว 2 ดวง	
6. นักเรียนสร้างตัวแทนความคิดในการเรียนรู้ที่กระตุ้นมาจากการแสดงบทบาทสมมติ ดังภาพ  ภาพแสดง ตัวแทนความคิดของนักเรียนที่สะท้อนจากบทเรียน	
7. นักเรียนได้รับชุดไดโอดเปล่งแสง (LED) ไฟฉาย และลูกโลก ครูสัมภาษณ์นักเรียนเกี่ยวกับการใช้ลูกโลกและไฟฉาย ในการอภิปรายเรื่องปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การเกิดกลางวัน-กลางคืน การเกิดฤดูกาล จันทรุปราคา และการเกิดข้างขึ้นข้างแรม	**หลักการ 3ก.** บริบทการรับรู้
8. ครูมีการประเมินตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างขึ้น ดังภาพ  ภาพแสดง การตอบคำถามของนักเรียน 4 คน จากคำถามหลังเรียน เรื่อง การหมุนและการโคจรของดวงดาว	**หลักการ 4** การประเมินผ่านตัวแทนความคิด

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

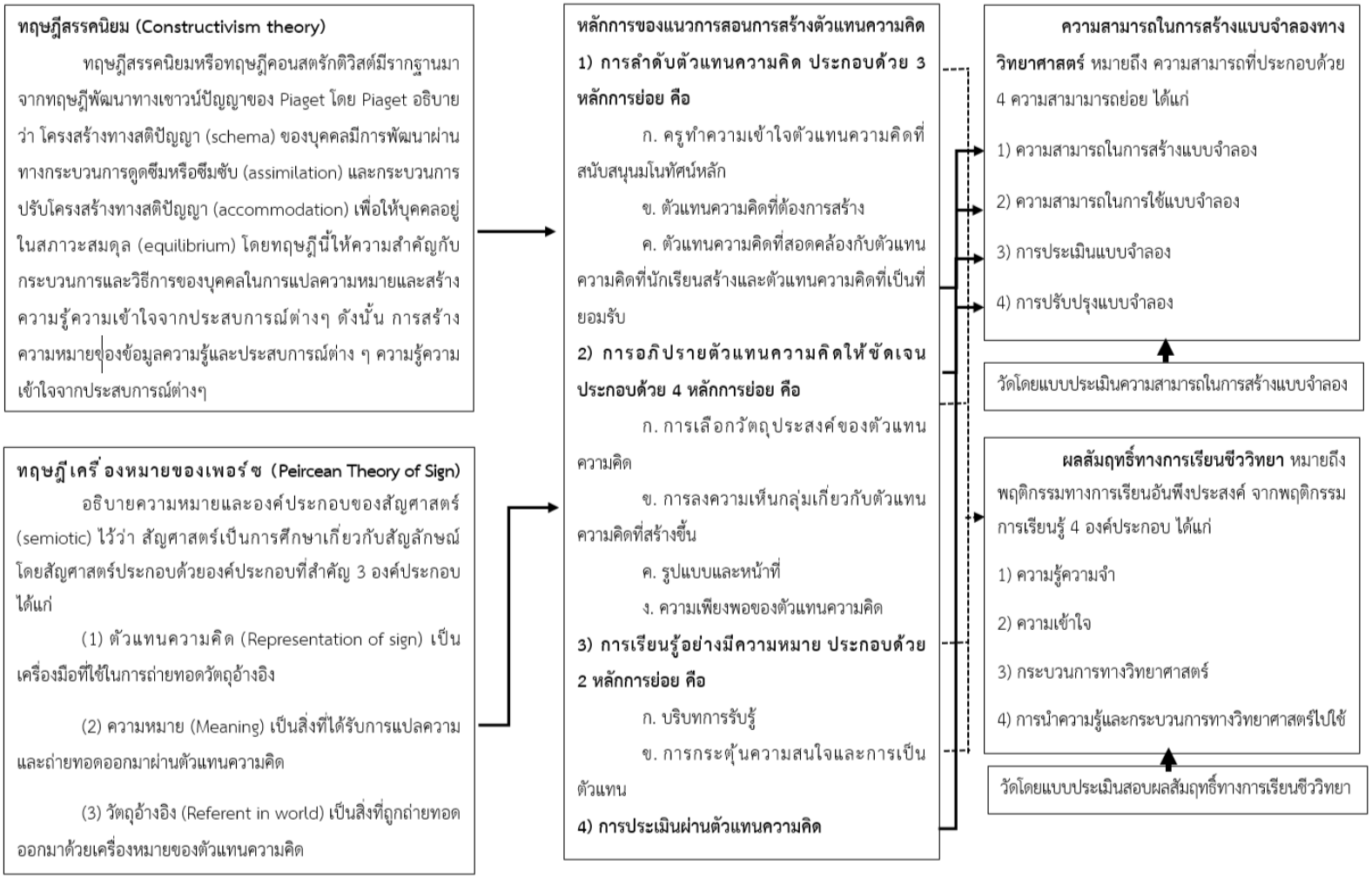
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยที่การนำเสนอการใช้ตัวแทนความคิดต่อบริบทที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการสร้างแบบจำลองและบริบทที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้

Löhner, Van Joolingen, and Savelsbergh (2003) ศึกษาผลของการใช้ตัวแทนความคิด (External representation) ต่อกระบวนการในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งผลการวิจัยพบว่าตัวแทนความคิดส่งผลต่อกระบวนการสร้างแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (เกรด 7) ในรายวิชาฟิสิกส์ โดยการใช้ตัวแทนความคิดที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ (Text-based model representation) และตัวแทนความคิดที่เป็นกราฟฟิก (Graphical representation) ผลการวิจัยสรุปว่า ตัวแทนความคิดทั้งสองประเภทสามารถกระตุ้นกระบวนการสร้างแบบจำลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Hubber et al. (2010) ทำการศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในบริบทดาราศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลก ซึ่งได้แก่ ปรากฏการณ์การเกิดกลางวันกลางคืน การเกิดฤดูกาล และการเกิดข้างขึ้นข้างแรม โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (เกรด 8) ซึ่งเก็บข้อมูลการวิจัยโดยใช้การทดสอบก่อนและหลังเรียนด้วยแบบวัดอัตนัยและแบบวัดปรนัยแบบเลือกตอบ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในการแปลความหมายและการสร้างตัวแทนความคิดที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิยฉัตร พูนพิพัฒน์ (2556) ทำการศึกษาผลของการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดที่หลากหลายต่อมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสาร และความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ผลการวิจัยสรุปว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เป็นร้อยละ 75.8 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กรอบแนวคิดงานวิจัย



บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. รูปแบบของการวิจัย
2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. **รูปแบบของการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental research) โดยมีรูปแบบการวิจัยแบบ One group posttest only design เนื่องจากมีการเลือกกลุ่มเป้าหมายแบบเฉพาะเจาะจงมาศึกษา 1 กลุ่ม คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียน ดังแผนภาพที่ 3

X---------- O

แผนภาพที่ 3 รูปแบบการวิจัยแบบ One group posttest only design

X หมายถึง การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

O หมายถึง การเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังการทดลอง

2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ห้องเรียนพิเศษคณิตศาสตร์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1

ปีการศึกษา 2559 จำนวนทั้งหมด 27 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ เขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ โดยมีขั้นตอนการเลือกกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

2.1 การเลือกโรงเรียน

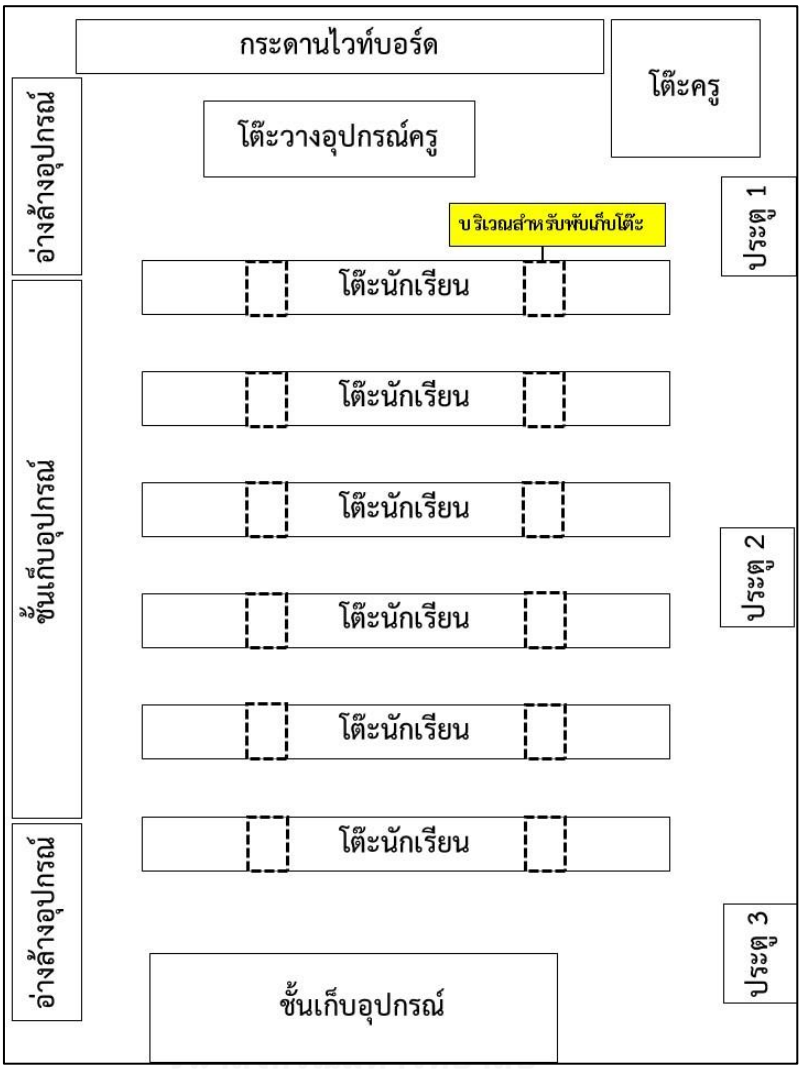
การวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีเลือกโรงเรียนแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยเลือกโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกโรงเรียน ดังนี้

1) บริบทของโรงเรียน

การคัดเลือกโรงเรียนในการวิจัยครั้งนี้ พิจารณาถึงบริบทของโรงเรียนซึ่งเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ที่มีการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มีนักเรียนจำนวนมากพอต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล ทางโรงเรียนเป็นศูนย์มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษาในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) วิชาชีววิทยา จึงทำให้โรงเรียนมีความพร้อมในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเอื้อต่อการจัดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลงมือปฏิบัติ เช่น การทดลอง เป็นต้น สอดคล้องกับการนำแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมาใช้ในการจัดการเรียนรู้และส่งเสริมการสร้างแบบจำลองของนักเรียน รวมถึงเป็นโรงเรียนที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำการวิจัยเป็นอย่างดี

2) สภาพห้องเรียน

ห้องเรียนที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด มีสภาพห้องเรียนโดยทั่วไปเอื้อต่อการจัดการเรียนรู้ พื้นที่ในห้องเรียนเพียงพอต่อจำนวนนักเรียน คือ สามารถรองรับนักเรียนได้ประมาณ 40 คน มีจำนวนโต๊ะเรียนทั้งหมด 6 ตัว โต๊ะแต่ละตัวสามารถรองรับนักเรียนได้ 6-7 คนเป็นแถวยาว และสามารถพับเก็บได้เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการทำกิจกรรมโดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดจากการลงมือปฏิบัติ และเพื่อให้ยืดหยุ่นต่อการใช้พื้นที่ในการอภิปรายตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างขึ้นเป็นรายกลุ่ม ดังแผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 แผนผังห้องเรียนที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ชีววิทยา

2.2 การเลือกกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการเลือกกลุ่มเป้าหมาย ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเลือกกลุ่มเป้าหมายแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) คือ นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ (ห้องเรียนพิเศษคณิตศาสตร์) ซึ่งมีนักเรียนจำนวนทั้งสิ้น 27 คน นักเรียนทั้งหมดเป็นเพศหญิง โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีพื้นฐานทางการเรียนวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีถึงดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ซึ่งความรู้พื้นฐานของนักเรียนส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ข้อมูลจากการสังเกตในระหว่างการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 ของปีการศึกษา 2558 พบว่านักเรียนใน

ห้องมีความประพฤติเรียบร้อย มีความเอาใจใส่ต่อการเรียน มีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมายอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียน เมื่อเรียนรู้ผ่านกิจกรรมและการทำปฏิบัติการทดลอง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบบันทึกหลังการเรียนรู้ (Learning log) ในส่วนของการให้ข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) นักเรียนระบุว่า “กิจกรรมหรือการทดลองที่น่าสนใจ ทำให้เห็นภาพและเข้าใจมากขึ้น การมีคลิปวิดีโอ ถึงแม้จะไม่ได้เห็นของจริง แต่ก็เข้าใจมากกว่าดูภาพ 2 มิติ” แต่อย่างไรก็ตาม จากการสัมภาษณ์นักเรียนในห้องเรียน พบว่านักเรียนกลุ่มหนึ่งในห้องเรียนไม่ชอบวิชาชีววิทยา เนื่องจากชีววิทยามีรายละเอียดมาก จึงได้สร้างแบบสอบถามเกี่ยวกับเจตคติในการเรียนวิชาชีววิทยา ซึ่งสะท้อนถึงปัญหาในการเรียนชีววิทยา 2 ประการที่สำคัญ ได้แก่ 1) เนื้อหาชีววิทยามีรายละเอียดที่มาก ทำให้นักเรียนไม่สามารถจดจำเนื้อหาได้ทั้งหมด หรือไม่สามารถจดจำคำศัพท์เกี่ยวกับชีววิทยาได้ และ 2) เนื้อหาชีววิทยาบางเรื่องมีความยากต่อการทำความเข้าใจ โดยเฉพาะเรื่องที่มีการศึกษาในระดับโมเลกุล ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อน ทำให้นักเรียนไม่สามารถมองเห็นภาพหรือมีปัญหาเกี่ยวข้องกับการสร้างมโนภาพทางชีววิทยา (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ฉ) จากสภาพปัญหาที่สะท้อนถึงการเรียนชีววิทยาที่กล่าวมาสอดคล้องกับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างสัญลักษณ์หรือรูปแบบที่ง่ายขึ้นเพื่อใช้สำหรับการแปลความหมายข้อมูล (Martínez-Solano, 2016)

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท คือ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มี 2 ฉบับ ได้แก่

1) แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2) แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

รายละเอียดของการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือมีดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ 2) แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ โดยมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

1) แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือ แบบประเมินที่ใช้สำหรับประเมินพฤติกรรมเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จากการปฏิบัติและผลงานของนักเรียน พัฒนาขึ้นโดยใช้แนวคิดของ Schwarz et al. (2009) และ Papaevripidou et al. (2014) รายการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองมี 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การสร้างแบบจำลอง 2) การใช้แบบจำลอง 3) การประเมินแบบจำลอง และ 4) การปรับปรุงแบบจำลอง โดยแบบประเมินฉบับนี้นำไปใช้เพื่อประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองระหว่างการจัดการเรียนรู้ 4 ครั้งเป็นรายกลุ่ม คือ ครั้งที่ 1 เรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ ครั้งที่ 2 เรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ ครั้งที่ 3 เรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ และครั้งที่ 4 เรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ ประเมินโดยครูผู้สอน มีคะแนนเต็ม 16 คะแนน และมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง 4 ระดับ คือ ระดับดีมาก ระดับดี ระดับพอใช้ และระดับควรปรับปรุง ซึ่งมีรายละเอียดของการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองตามขั้นตอน ดังนี้

1.1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการสร้างแบบจำลองและพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากงานวิจัยของ Chang (2008), Hung et al. (2009), Schwarz et al. (2009), National Research Council (2011), Papaevripidou et al. (2014) และ Jong et al. (2015) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 องค์ประกอบ คือ 1) การสร้างแบบจำลอง 2) การใช้แบบจำลอง 3) การประเมินแบบจำลอง และ 4) การปรับปรุงแบบจำลอง

1.2) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จากงานวิจัยของ Nicolaou and Constantinou (2014) ซึ่งได้รวบรวมแนวทางการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองสามารถประเมินได้จากการสัมภาษณ์นักเรียน การใช้แบบสอบถาม แบบบันทึกกิจกรรม แผนผังมโนทัศน์ การปฏิบัติงาน และผลงานของนักเรียนในการประเมินความรู้ในการสร้างแบบจำลอง ประเมินการปฏิบัติและผลงานของนักเรียนโดยใช้เกณฑ์การ

ประเมินจากแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองโดยใช้การประเมินการปฏิบัติและผลงานนักเรียนจากแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองตามแนวทางการประเมินของ Schwarz et al. (2009) และ Papaevripidou et al. (2014) เนื่องจากสามารถประเมินได้ครอบคลุมทุกองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และการพิจารณาความรู้ในการสร้างแบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง (Schwarz et al., 2009) รวมถึงสามารถประเมินประเภทของแบบจำลองทางชีววิทยาได้ครอบคลุมทุกประเภท

1.3) กำหนดพฤติกรรมบ่งชี้ของรายการประเมินทั้ง 4 รายการ ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การใช้แบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง และการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อกำหนดเกณฑ์การประเมินให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่กำหนดไว้ตามแนวทางการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับมาจากงานวิจัยของ Schwarz et al. (2009) และ Papaevripidou et al. (2014)

1.4) นำเกณฑ์การประเมินมาสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริกส์แบบแยกประเด็น (Analytic rubrics) โดยแบ่งระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) และควรปรับปรุง (1)

1.5) กำหนดเกณฑ์ในการแปลผลคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ตามแนวทางการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) ที่กำหนดความสามารถระดับดีไว้ที่ร้อยละ 70 แบ่งเป็นช่วงคะแนนไว้ 4 ระดับ ซึ่งมีการแปลระดับความสามารถของแต่ละช่วงคะแนนดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ช่วงคะแนนและระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง โดยมีคะแนนเต็ม 16 คะแนน

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
14-16	ระดับดีมาก
11-13	ระดับดี
8-10	ระดับพอใช้
4-7	ระดับควรปรับปรุง

1.6) นำแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นเสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความเหมาะสมของรายการประเมิน และเกณฑ์การประเมินตามนิยามเชิงปฏิบัติการของรายการประเมินและภาษาที่ใช้ แล้วจึงปรับแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

โดยอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้ข้อเสนอแนะว่า “ควรนำแบบประเมินที่สร้างขึ้นไปทดลองประเมินแบบจำลอง เพื่อพิจารณาว่ารายการประเมินใดที่สามารถประเมินได้ และรายการประเมินใดที่ไม่สามารถประเมินได้ด้วยแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง”

1.7) นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยครูในโรงเรียนมัธยมศึกษาที่มีประสบการณ์ในการนำตัวแทนความคิด/แบบจำลองมาใช้ในการเรียนรู้ชีววิทยาในห้องเรียน อาจารย์มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และอาจารย์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเนื้อหาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ด้วยการพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้องจากผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจน ความเหมาะสมของการใช้ภาษา และความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมิน จากนั้นคัดเลือกรายการประเมินที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาพบว่า รายการประเมินทั้ง 4 รายการ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินอยู่ในช่วง 0.67–1 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

1.8) นำข้อเสนอแนะที่รวบรวมได้จากข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิมาปรับแก้ไข ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ปรับแก้องค์ประกอบของการสร้างแบบจำลอง โดยทำการแก้ไขรายการประเมินเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองที่แสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม โดยตัดส่วนที่ระบุว่า “แสดงทุกองค์ประกอบของปรากฏการณ์” ออก

2. ปรับแก้องค์ประกอบของการใช้แบบจำลอง โดยทำการแก้ไขรายการประเมินจาก “นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้เหมาะสม” เป็น “นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้ตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์”

1.9) นำแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่แก้ไขปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ โดยนำแบบประเมินนี้ไปใช้ในการให้คะแนนการปฏิบัติและผลงานการสร้างแบบจำลองของนักเรียนร่วมกับครูผู้สอนซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมิน 1 ท่าน และผู้ช่วยวิจัยอีก 1 ท่าน จากนั้นนำคะแนนจากการประเมินมาตรวจสอบความสอดคล้องภายใน (Inter-rater reliability) ระหว่างผู้ทำวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยวิจัย โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater

Agreement Index; RAI) แบบพฤติกรรมบ่งชี้หลายตัว นักเรียนหลายคน และมีผู้ประเมินหลายคน โดยค่าดัชนีความสอดคล้องจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 เมื่อมีค่าใกล้ 1 แสดงว่าผู้ประเมินสามารถให้คะแนนได้อย่างสอดคล้องกันสูง แต่ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าผู้ประเมินให้คะแนนไม่สอดคล้องกัน (สุรชัย มีชาญ, 2547) ในงานวิจัยนี้ทำการประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินจากแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 จำนวน 27 คน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม (กลุ่มละ 4-5 คน) ตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้องจากนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม พฤติกรรมบ่งชี้ 4 รายการ คือ การสร้าง การใช้ การประเมิน และการปรับปรุงแบบจำลอง และมีผู้ประเมินจำนวน 3 ท่าน คือ ผู้ทำวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยวิจัย ผลการตรวจสอบได้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินเท่ากับ 0.89 แสดงว่าผู้ทำวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยวิจัยให้คะแนนได้อย่างสอดคล้องกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

1.10) นำแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่ปรับแก้ไขแล้วไปใช้เพื่อประเมินการปฏิบัติและผลงานความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 จำนวน 27 คน

2) แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา เรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและวิวัฒนาการ เป็นลักษณะข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ พัฒนาขึ้นตามหลักการของ Klopfer (1971) ประกอบด้วยพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ด้าน คือ 1) ด้านความรู้ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ โดยแบบสอบฉบับนี้นำไปใช้ เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด มีคะแนนเต็ม 30 คะแนน และมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา 5 ระดับ คือ ระดับดีมาก ระดับดี ระดับปานกลาง ระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด และระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด ซึ่งมีรายละเอียดของการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ดังนี้

2.1) ศึกษาตำรา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์จาก Klopfer (1971), สุวัฒน์ นิยมค้า (2531), สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) และพิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2548) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ซึ่งประกอบด้วย

4 รายการ คือ 1) ความรู้ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้

2.2) ศึกษาเนื้อหาบทเรียนเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการจากหนังสือเรียนรายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554b) และวิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้และจำนวนชั่วโมงที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนรู้เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการจากคู่มือครูรายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554a) เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาความเหมาะสมของจำนวนข้อสอบในแต่ละเนื้อหาและจำนวนข้อสอบในแต่ละพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

2.3) สร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ให้ครอบคลุมพฤติกรรมด้านความรู้ความจำ ด้านความเข้าใจ ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 จำนวนข้อของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยาตามเนื้อหาและพฤติกรรมการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้และเนื้อหา	**พฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัด (ข้อ)**				**รวม (ข้อ)**
	ความจำ	ความเข้าใจ	กระบวนการ	การนำไปใช้	
พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ					
1. พันธุวิศวกรรมและรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ	2	2	-	-	4
2. การโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย	-	-	-	1	1
3. การโคลนยีนในหลอดทดลองโดยอาศัย PCR	1	1	-	-	2
4. การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม	1	-	1	1	3
5. การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ	-	2	1	2	5
รวม	**4**	**5**	**2**	**4**	**15**
วิวัฒนาการ					
5. หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	-	-	2	-	2
6. แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	-	-	1	1	2
7. พันธุศาสตร์ประชากร	1	1	2	-	4

หน่วยการเรียนรู้และเนื้อหา	พฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัด (ข้อ)				รวม (ข้อ)
	ความจำ	ความเข้าใจ	กระบวนการ	การนำไปใช้	
8. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่	-	1	1	-	2
9. กำเนิดสปีชีส์	-	2	-	1	3
10. วิวัฒนาการมนุษย์	1	-	1	-	2
รวม	**2**	**4**	**7**	**2**	**15**
รวมทั้งสิ้น (ร้อยละ)	**6 (20)**	**9 (30)**	**9 (30)**	**6 (20)**	**30 (100)**

2.4) กำหนดลักษณะของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยเกณฑ์การพิจารณาจำนวนข้อสอบได้รับคำแนะนำจากทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นครูผู้สอนในเนื้อหาเรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ให้พิจารณาจำนวนข้อสอบจากความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดสอบนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือ 50 นาที และกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อ คือ ถ้านักเรียนตอบถูกให้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดหรือไม่ตอบ หรือตอบมากกว่า 1 ข้อ ให้ 0 คะแนน

2.5) สร้างแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาให้สอดคล้องกับตารางวิเคราะห์เนื้อหาและพฤติกรรมที่ต้องการวัด เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ และกำหนดเกณฑ์ในการแปลผลคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ตามแนวทางการประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ซึ่งมีการแปลผลของแต่ละช่วงคะแนน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ช่วงคะแนนและระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

ช่วงคะแนน (ร้อยละ)	ระดับความสามารถ
80-100	ระดับดีมาก
70-79	ระดับดี
60-69	ระดับปานกลาง
50-59	ระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด
0-49	ระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด

2.6) นำแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่สร้างขึ้นเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและพฤติกรรมที่ต้องการวัด ตัวเลือก ตัวลวง ความถูกต้องเหมาะสมของการใช้ภาษา แล้วจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

2.7) นำแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขเบื้องต้นตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาให้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ครูที่มีประสบการณ์สอนวิชาชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการในโรงเรียนมัธยมศึกษา อาจารย์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในวิชาชีววิทยาและเนื้อหาเรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ และอาจารย์มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเนื้อหาชีววิทยา การวัด และประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ตรวจสอบความตรงเนื้อหา (รายนามในภาคผนวก ก) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องของรายการประเมิน รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนของการใช้ภาษา และความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิมากกว่า 0.5 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งผลการตรวจความตรงเชิงเนื้อหาปรากฏว่าข้อสอบจำนวน 29 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์การวัดผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยาอยู่ระหว่าง 0.67–1 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาความสอดคล้อง และข้อสอบจำนวน 1 ข้อ คือ ข้อที่ 12 มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์เท่ากับ 0 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การพิจารณาความสอดคล้อง จึงดำเนินการปรับปรุงแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยาในข้อดังกล่าวตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ คือ ปรับแก้ไขคำถามเกี่ยวข้องกับโรคทางพันธุกรรม และปรับลักษณะคำถามและคำตอบให้มีความชัดเจนมากขึ้น

2.8) นำข้อเสนอแนะที่รวบรวมได้จากข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิมาปรับแก้ไขแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. ข้อสอบข้อที่ 5 แก้ไขคำถามจาก “...ส่งผลให้เซลล์ของแบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดไม่สามารถสร้าง...” เป็น “...ส่งผลให้เซลล์ของแบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดที่มียีนแทรกไม่สามารถสร้าง...”

2. ข้อสอบข้อที่ 8 ปรับจากทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลเป็นทักษะการแปลความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป เนื่องจากมีความสอดคล้องกับความหมายของทักษะกระบวนการแปลความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปมากกว่า

3. ข้อสอบข้อที่ 11 แก้ไขคำในคำถามจาก “...ลูกสาว 2 คน และลูกสาว 2 คน...” เป็น “...ลูกสาว 2 คน และลูกชาย 2 คน...”

4. ข้อสอบข้อที่ 12 แก้ไขคำถาม ...เกี่ยวข้องกับโรคทางพันธุกรรม... และปรับลักษณะคำถามและคำตอบให้มีความชัดเจน

5. ข้อสอบข้อที่ 16 ปรับชนิดของพืชเป็นพืชที่นักเรียนรู้จักเพื่อไม่ให้ความรู้เดิมของนักเรียนส่งผลต่อการตอบแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

6. ข้อสอบข้ออื่น ๆ ปรับลักษณะของตัวเลือกตัวลวงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การวางคำตอบตัวเลือกตัวลวง และแก้ไขคำในตัวเลือกเพื่อไม่ให้ชี้แนะคำตอบสำหรับนักเรียน เป็นต้น

2.9) นำแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่ปรับปรุงแก้ไขแล้ว ทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างและผ่านการเรียนเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 40 คน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบรายข้อ (Item analysis) ด้านความยากและอำนาจจำแนก และตรวจสอบคุณภาพแบบสอบทั้งฉบับในด้านความเที่ยง โดยมีรายละเอียดการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบรายข้อด้านความยาก (Difficulty index: p) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และข้อสอบที่คัดเลือกมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีการกำหนดเกณฑ์ค่าความยากให้อยู่ในช่วง 0.2–0.8 (โชติกา ภาษีผล ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง และกมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2558) ผลการตรวจคุณภาพของแบบสอบรายข้อปรากฏว่าแบบสอบฉบับนี้มีค่าความยากอยู่ในช่วง 0.25–0.8 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

2. ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบรายข้อด้านอำนาจจำแนก (Discriminant index: r) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง (-1) ถึง (+1) และข้อสอบที่คัดเลือกมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีการกำหนดเกณฑ์ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป สำหรับการวิจัยครั้งนี้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนจำนวน 40 คน ทำการคัดเลือกกลุ่มนักเรียนที่มีคะแนนรวมสูงและต่ำ โดยแบ่งครึ่งผู้สอบจากการเรียงลำดับคะแนนรวม (เทคนิค 50%) (โชติกา ภาษีผล ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง และกมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2558) ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบรายข้อปรากฏว่าแบบสอบฉบับนี้มีค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.2– 0.65 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

3. ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบทั้งฉบับด้านความเที่ยง ด้วยวิธีหาค่าความสอดคล้องภายในของคูเดอร์-ริชาร์ดสันโดยใช้สูตรที่ 20 (Kuder Richardson Formular-20: KR-20) ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบสอบทั้งฉบับปรากฏว่าแบบสอบฉบับนี้มีค่าความสอดคล้องภายในหรือความเที่ยงเท่ากับ 0.87

1.10) นำแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่ปรับปรุงแล้วไปใช้เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ซึ่งมีขั้นตอนในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้และตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1) ศึกษาหลักการของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดและตัวอย่างการนำหลักการนี้ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จากเอกสารและงานวิจัยของ Tytler, Prain, et al. (2013) แล้วจึงทำการวิเคราะห์ลำดับหลักการออกมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ดังนี้

1.1) การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในแต่ละแผนจัดการเรียนรู้ ต้องครอบคลุมหลักการทั้ง 4 หลักการ ได้แก่ หลักการที่ 1 ลำดับการสอนขึ้นอยู่กับตัวแทนความคิด หลักการที่ 2 การอภิปรายตัวแทนความคิด หลักการที่ 3 การเรียนรู้อย่างมีความหมาย และหลักการที่ 4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิด แต่ไม่จำเป็นต้องครบองค์ประกอบของหลักการย่อย

1.2) หลักการ 1ก. ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก เป็นหลักการที่จะต้องเกิดขึ้นก่อนเสมอ โดยเป็นหลักการที่อยู่นอกเหนือจากขั้นตอนการสอน 3 ขั้น และปรากฏอยู่ในการวางแผนการสอน

1.3) ลำดับของหลักการเป็นดังนี้ คือ หลักการ 1 เกิดขึ้นก่อนหลักการ 2 เนื่องจากนักเรียนจำเป็นต้องสร้างตัวแทนความคิด/แบบจำลองขึ้นมาก่อน จึงเกิดการอภิปรายตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่สร้างขึ้น (แต่อาจมีการสลับหลักการย่อยบางประการได้)

1.4) หลักการ 3 และหลักการ 4 มีการแทรกอยู่ในระหว่างการสอน โดยหลักการ 3 จะแทรกอยู่ในขั้นตอนของกิจกรรมที่ให้นักเรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติหรือมีโอกาสเลือกปฏิบัติด้วยตนเอง ส่วนหลักการ 4 นั้นอาจแทรกอยู่ในทุกขั้นหรืออาจแทรกอยู่ในบางขั้น เนื่องจากการประเมินสามารถเกิดได้ทุกขั้นของการจัดการเรียนรู้

2) ศึกษาขอบเขตเนื้อหาวิชาชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ จากหนังสือเรียนรายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยี, 2554b) เพื่อวิเคราะห์ประเภทของตัวแทนความคิด/แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ให้มีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ รวมถึงวิเคราะห์ระยะเวลา จำนวนคาบเรียน และวัตถุประสงค์การเรียนรู้จากคู่มือครูรายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554a)

3) กำหนดเนื้อหา จำนวนคาบเรียน และประเภทของตัวแทนความคิด/แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการเขียนแผนจัดการเรียนรู้ โดยเนื้อหาแบ่งเป็น 2 บท คือ 1) เรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยี และ 2) เรื่องวิวัฒนาการ จำนวนแผนจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 8 แผน และจำนวนระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 20 คาบเรียน ให้ครอบคลุมตัวแทนความคิด/แบบจำลองทั้ง 5 ประเภท คือ 1) แบบจำลองเชิงรูปธรรม 2) แบบจำลองเชิงภาษา 3) แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ 4) แบบจำลองเชิงภาพ และ 5) แบบจำลองเชิงท่าทาง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ลำดับหัวข้อและจำนวนคาบเรียนจากแผนการจัดการเรียนรู้

แผน ลำดับที่	บทที่และเนื้อหา	จำนวน คาบ	ประเภทของการสร้าง แบบจำลอง
บทที่ 17 เรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ			
1	พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ และการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย	2	แบบจำลองเชิงรูปธรรม เชิงภาพ และเชิงภาษา
2	การโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม	4	แบบจำลองเชิงรูปธรรม และเชิงภาษา
3	การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ	2	แบบจำลองเชิงภาพและ แบบจำลองเชิงภาษา
บทที่ 18 เรื่องวิวัฒนาการ			
4	หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	2	แบบจำลองเชิงภาพ และเชิงภาษา
5	พันธุศาสตร์ประชากร	4	แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ และเชิงภาษา
6	ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่อัลลีล	2	แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ เชิงภาพ และเชิงภาษา

แผนลำดับที่	บทที่และเนื้อหา	จำนวนคาบ	ประเภทของการสร้างแบบจำลอง
7	กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์	2	แบบจำลองเชิงท่าทาง เชิงภาพ และเชิงภาษา
8	ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ	2	แบบจำลองเชิงท่าทาง เชิงภาพ และเชิงภาษา
	รวม	20	

4) ดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้รายคาบตามเนื้อหา จำนวนคาบเรียน และประเภทของตัวแทนความคิด/แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดไว้เบื้องต้น คือ จำนวนแผนจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 8 แผน และจำนวนระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 20 คาบเรียน

5) นำแผนจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้ การวัดและการประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด และตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการใช้ภาษา จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยอาจารย์ที่ปรึกษาเสนอแนะว่า “ให้นำหลักการของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเปรียบเทียบกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มองเห็นความเป็นไปได้ของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้”

6) นำแผนจัดการเรียนรู้ที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว ให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยครูที่มีประสบการณ์สอนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการในโรงเรียนมัธยมศึกษา อาจารย์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในวิชาชีววิทยาและเนื้อหาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ และมีประสบการณ์ในการให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ และอาจารย์มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ (รายนามในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของเนื้อหาสาระและความถูกต้องของภาษา ความสอดคล้องระหว่างเนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้และการวัดประเมินผลที่ใช้ในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้

7) นำข้อเสนอแนะที่รวบรวมได้จากข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิมาปรับแก้ไข ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้เสนอแนะเพิ่มเติม สรุปได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจแผนการจัดการเรียนรู้

ประเด็นปรับแก้ไข	ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้ทรงคุณวุฒิ
1. รูปแบบของแผนการจัดการเรียนรู้	1. เสนอให้เพิ่มเติมมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในสาระที่ 8 คือ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยให้ระบุตัวชี้วัดที่ใช้แผนจัดการเรียนรู้ในแต่ละคาบเพิ่มเติม
2. ด้านเนื้อหา	1. เสนอให้เพิ่มเติมเนื้อหาในแผนการจัดการเรียนรู้ คือ 1.1 ควรเพิ่มเติมข้อมูลเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอไปใช้ประโยชน์ เพื่อให้นักเรียนมีความสนใจในเนื้อหา และยกตัวอย่างเพิ่มเติมหลังจากทำกิจกรรมเสร็จ 1.2 ควรอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับพลาสมิด ว่าคืออะไร มีองค์ประกอบอะไรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ 1.3 ควรเพิ่มเติมความสำคัญของการนำสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กมาใช้และเพิ่มแบบฝึกหัดการคำนวณสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กให้หลากหลาย
3. ด้านขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	1. เสนอแนะให้มีการกำหนดระยะเวลาในการทำกิจกรรมให้เหมาะสมและรัดกุม เพราะอาจทำให้ไม่มีเวลาในการสรุปกิจกรรม โดยทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้เสนอแนะเพิ่มเติมว่าให้วงเล็บเวลาที่ให้นักเรียนทำกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน 2. เสนอแนะให้เตรียมความพร้อมในเรื่องอุปกรณ์การทำกิจกรรมและทำการทดลองก่อน เพื่อช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำกิจกรรม
4. ด้านการใช้ภาษา	1. เสนอให้ปรับแก้ไขคำในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 คือ ปรับคำว่า นิวคลีโอไทด์เบส เป็นนิวคลีโอไทด์อิสระตามชนิดของเบสที่เป็นองค์ประกอบ 2. เสนอให้ปรับแก้ไขคำในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 คือ ปรับคำที่ใช้ปะปนในแผนจัดการเรียนรู้ คือ ทฤษฎีของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กและกฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เป็นสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กแทน เพื่อลดความสับสน

8) นำแผนจัดการเรียนรู้มาปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบอีกครั้ง จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องพันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ และการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรียไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 และนำข้อบกพร่องที่พบจากการทดลองใช้แผนจัดการเรียนรู้มาปรึกษากับครูในโรงเรียนมัธยมศึกษา ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแผนจัดการเรียนรู้ เพื่อหาแนวทางการปรับแก้ไข โดยมีข้อบกพร่องในการจัดการเรียนรู้ และมีแนวทางการปรับแก้ไข แสดงในตารางที่ 14 ดังนี้

ตารางที่ 14 ข้อบกพร่องจากการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ และแนวทางปรับแก้ไข

ข้อบกพร่องในการจัดการเรียนรู้	แนวทางการปรับแก้ไข
1. ปัญหาการแบ่งกลุ่มนักเรียน เนื่องจากให้นักเรียนจัดกลุ่มกันเอง นักเรียนไม่สามารถแบ่งกลุ่มกันได้อย่างลงตัว ทำให้การจัดการเรียนรู้ล่าช้าไป 15 นาที	1. เสนอให้แบ่งกลุ่มผู้เรียน โดยแบ่งกลุ่มให้ผู้เรียนเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 3-4 คน และใช้กลุ่มเดิมตลอดระยะเวลาที่จัดการเรียนรู้
2. วัสดุ-อุปกรณ์ เช่น กรรไกรและเทปใสไม่เพียงพอต่อจำนวนนักเรียน ทำให้นักเรียนต้องรอใช้อุปกรณ์ต่อกัน ทำให้การจัดการเรียนรู้เป็นไปอย่างล่าช้า	2. มอบหมายความรับผิดชอบโดยให้นักเรียนนำวัสดุ-อุปกรณ์ คือ กรรไกรและเทปใสมา และกำหนดเวลาในการทำกิจกรรม โดยการจับเวลาตามเวลาที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เมื่อหมดเวลาให้นักเรียนหยุดทำกิจกรรม
3. การคุมชั้นเรียน เกิดความวุ่นวายในระหว่างทำกิจกรรม ไม่สามารถดูแลนักเรียนได้อย่างทั่วถึง และนักเรียนบางคนไม่ทำกิจกรรม	3. สร้างข้อตกลงในห้องเรียน เพื่อให้สามารถควบคุมชั้นเรียนได้ดีขึ้น
4. เวลาในการทำกิจกรรมไม่เป็นไปตามที่กำหนด คือ ต้องใช้เวลาเพิ่ม 50 นาทีจากเวลาที่วางแผนไว้	4. ทบทวนเวลาในแผนการจัดการเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง และจับเวลาในการทำกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน

4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการทดลองสอนและเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยแบ่งการดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นเตรียมนักเรียนก่อนการทดลอง 2) ขั้นการดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง และ 3) ขั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 ขั้นเตรียมนักเรียนก่อนการทดลอง

เตรียมนักเรียนกลุ่มเป้าหมายก่อนการทดลองสอนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด โดยให้นักเรียนกลุ่มเป้าหมายเข้าใจประเด็นในดังต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการเรียนรู้และการจัดกิจกรรมตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด และบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

2. แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับความหมายและประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

4.2 ขั้นการดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง

ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาโดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดเป็นเวลา 7 สัปดาห์ จำนวน 20 คาบ คาบละ 50 นาที โดยทดลองในคาบเรียนตั้งแต่วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2559 (จำนวน 18 คาบ) และได้รับคาบเรียนเพิ่มเติมในวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2559 (จำนวน 2 คาบเรียน) และทำการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากการปฏิบัติและผลงานของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม โดยมีการแบ่งนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย 27 คน เป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน และมีการจัดกลุ่มนักเรียนให้อยู่กลุ่มเดียวกันตลอดการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองในระหว่างการจัดการเรียนรู้ 4 ครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดของครั้งที่ทำการประเมินและระยะห่างของการประเมิน ดังนี้

ครั้งที่ 1 เรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ

ครั้งที่ 2 เรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ ทำการประเมินห่างจากครั้งที่ 1 เป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ครั้งที่ 3 เรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ ทำการประเมินห่างจากครั้งที่ 2 เป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ครั้งที่ 4 เรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ ทำการประเมินห่างจากครั้งที่ 3 เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

จากนั้นนำผลคะแนนรวมของพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง คือ 1) การสร้างแบบจำลอง 2) การใช้แบบจำลอง 3) การประเมินแบบจำลอง

และ 4) การปรับปรุงแบบจำลองในการประเมินครั้งที่ 4 เรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินที่กำหนดไว้ คือ ระดับดี และเปรียบเทียบผลการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองแต่ละครั้งในเชิงพัฒนาการและจากความยากง่ายของเนื้อหา

4.3 ขั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

หลังจากทดลองสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ดำเนินการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและวิวัฒนาการ จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แล้วนำผลคะแนนมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินที่กำหนดไว้ คือ ระดับดีมาก โดยใช้เวลาสอบ 50 นาที

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ค่าสถิติสำเร็จรูป โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีขั้นตอน ดังนี้

1. นำคะแนนที่ได้จากการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองด้านการสร้าง การใช้ การประเมิน และการปรับปรุงแบบจำลอง แล้วจึงนำผลคะแนนในแต่ละด้านมารวมกัน เพื่อประเมินคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2. นำผลคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 70 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดี เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยข้อที่ 1

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีขั้นตอน ดังนี้

1. นำคะแนนที่ได้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

2. นำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยามาวิเคราะห์ระดับผลการเรียน โดยการเปรียบเทียบจากเกณฑ์ประเมินระดับผลการเรียนที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 80 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดีมาก เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยข้อที่ 2

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง ผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลอง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ผลข้อมูล คือ คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ตอน ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ตามลำดับ ดังนี้

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยนี้ พิจารณาข้อมูลจาก 1) ผลการวิเคราะห์คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ 2) ผลการศึกษาพัฒนาการของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยนี้ พิจารณาผลการประเมินจากคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในคาบเรียนสุดท้ายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 เรื่อง ความปลอดภัยทางเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 จาก 4 องค์ประกอบ คือ 1) การสร้างแบบจำลอง 2) การใช้แบบจำลอง 3) การประเมินแบบจำลอง และ 4) การปรับปรุงแบบจำลอง โดยนำคะแนนเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งกำหนดไว้ที่ระดับดี คือ ร้อยละ 70 ตามเกณฑ์การประเมินของ Schwarz et al. (2009) แสดงในตารางที่ 15 ดังนี้

ตารางที่ 15 คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ร้อยละของคะแนนรวม และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มที่	พฤติกรรมความสามารถในการสร้างแบบจำลอง (คะแนน)					ร้อยละของคะแนนรวม	ระดับความสามารถ
	การสร้าง	การใช้	การประเมิน	การปรับปรุง	รวม		
1	4	4	4	2	14	87.50	ดีมาก
2	4	4	4	3	15	93.75	ดีมาก
3	3	4	3	3	13	81.25	ดี
4	4	3	3	3	13	81.25	ดี
5	3	4	2	2	11	68.75	ดี
6	3	3	2	3	11	68.75	ดี
เฉลี่ยรวม	3.50	3.67	3.00	2.67	12.83	80.18	ดี

จากตารางที่ 15 เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ที่ระดับดี คือ ร้อยละ 70 พบว่านักเรียนมีคะแนนค่าเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองเท่ากับ 12.83 คะแนน จากคะแนนเต็ม 16 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.18 ซึ่งอยู่ในระดับดีเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อพิจารณาคะแนนแยกองค์ประกอบพบว่านักเรียนมีคะแนนความสามารถในการสร้าง การใช้ และการประเมินแบบจำลองเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 3.67 และ 3.00 คะแนน จากคะแนนเต็มองค์ประกอบละ 4 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 87.5 91.75 และ 75.00 ตามลำดับ อยู่ในระดับดีมาก ดีมากและดี ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตามคะแนนความสามารถในการปรับปรุงแบบจำลองของนักเรียนเท่ากับ 2.67 คิดเป็นร้อยละ 66.75 อยู่ในระดับดี ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 70

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาคะแนนแยกเป็นรายกลุ่ม 6 กลุ่ม พบว่านักเรียนมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดีมาก 2 กลุ่ม และความสามารถระดับดี 4 กลุ่ม ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ ระดับดีทุกกลุ่ม

2) ผลการศึกษาพัฒนาการของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาพัฒนาการของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาผลการประเมินจากคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จำนวน

4 ครั้ง คือ 1) เรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ 2) เรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ 3) เรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ และ 4) เรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ โดยเว้นระยะห่างระหว่างการประเมินประมาณ 2 สัปดาห์ในระหว่างการประเมิน 3 ครั้งแรก และเว้นระยะห่างระหว่างการประเมิน 1 สัปดาห์ในระหว่างการประเมินครั้งที่ 3 และ 4 และพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม แสดงในตารางที่ 16 ดังนี้

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากเนื้อหาเรื่องต่าง ๆ

ครั้งที่	วันที่	เนื้อหาเรื่อง	$\overline{X}$	$\overline{X}_{ร้อยละ}$	S.D.	ระดับความสามารถ
1	11 ส.ค. 2559	พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ	8.33	52.08	0.52	พอใช้
2	25 ส.ค. 2559	การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ	9.67	60.43	1.033	พอใช้
3	8 ก.ย. 2559	กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์	11.33	70.81	1.033	ดี
4	15 ก.ย. 2559	ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ	12.83	80.18	0.89	ดี

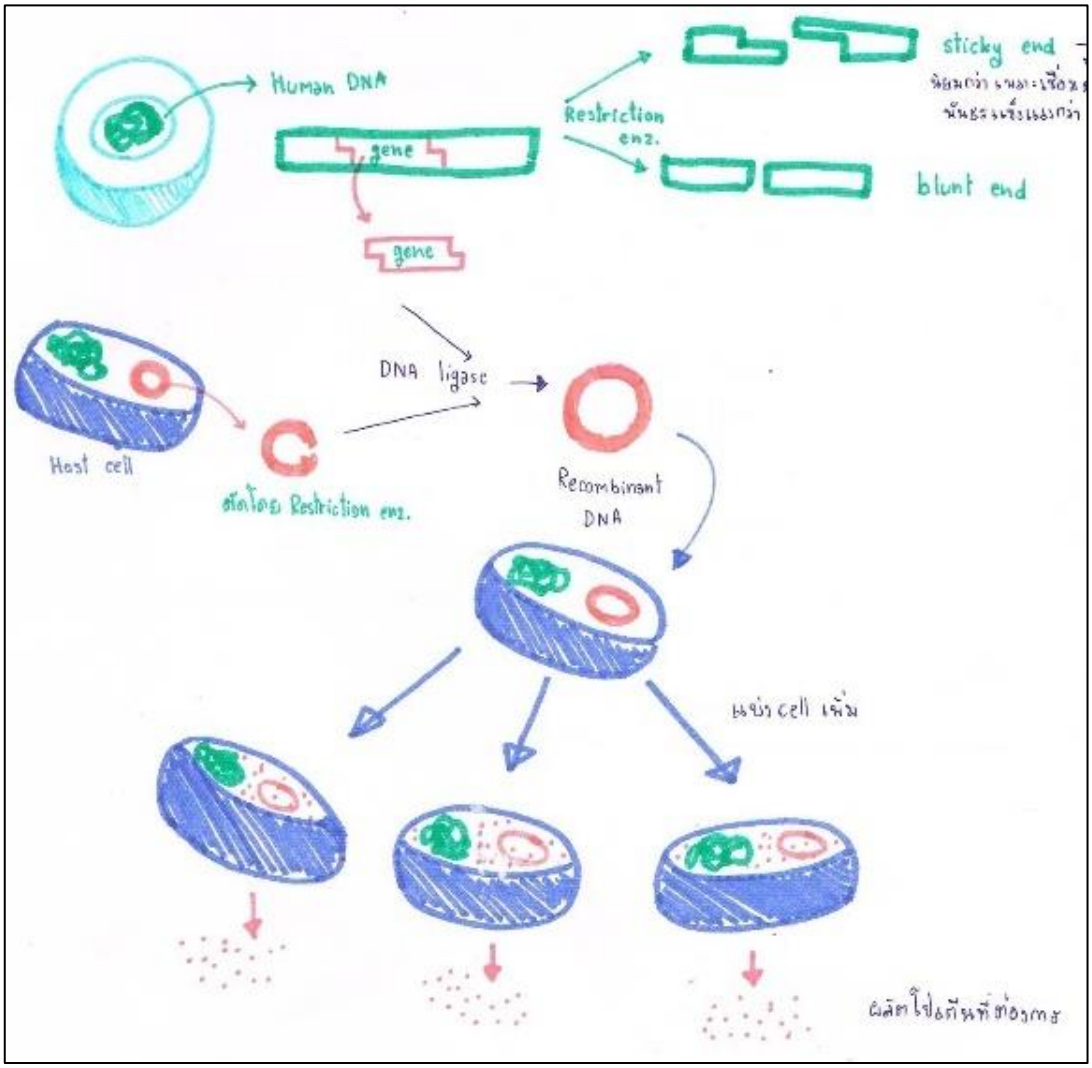
จากตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากการศึกษาเชิงพัฒนาการ พบว่านักเรียนมีคะแนนค่าเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้น โดยมีคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองในเนื้อหาเรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ การประยุกต์เทคโนโนโลยีดีเอ็นเอ กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ และความปลอดภัยเทคโนโลยีทางชีวภาพเท่ากับ 8.33 9.67 11.33 และ 12.83 คะแนน จากคะแนนเต็ม 16 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 52.08 60.43 70.81 และ 80.18 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับพอใช้ ระดับพอใช้ ระบบดับดี และระดับดีตามลำดับ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงความยากง่ายของเนื้อหา พบว่าเนื้อหาที่มีความยากง่ายแตกต่างกันส่งผลต่อระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนที่แตกต่างกัน โดยในเนื้อหาที่มีความ

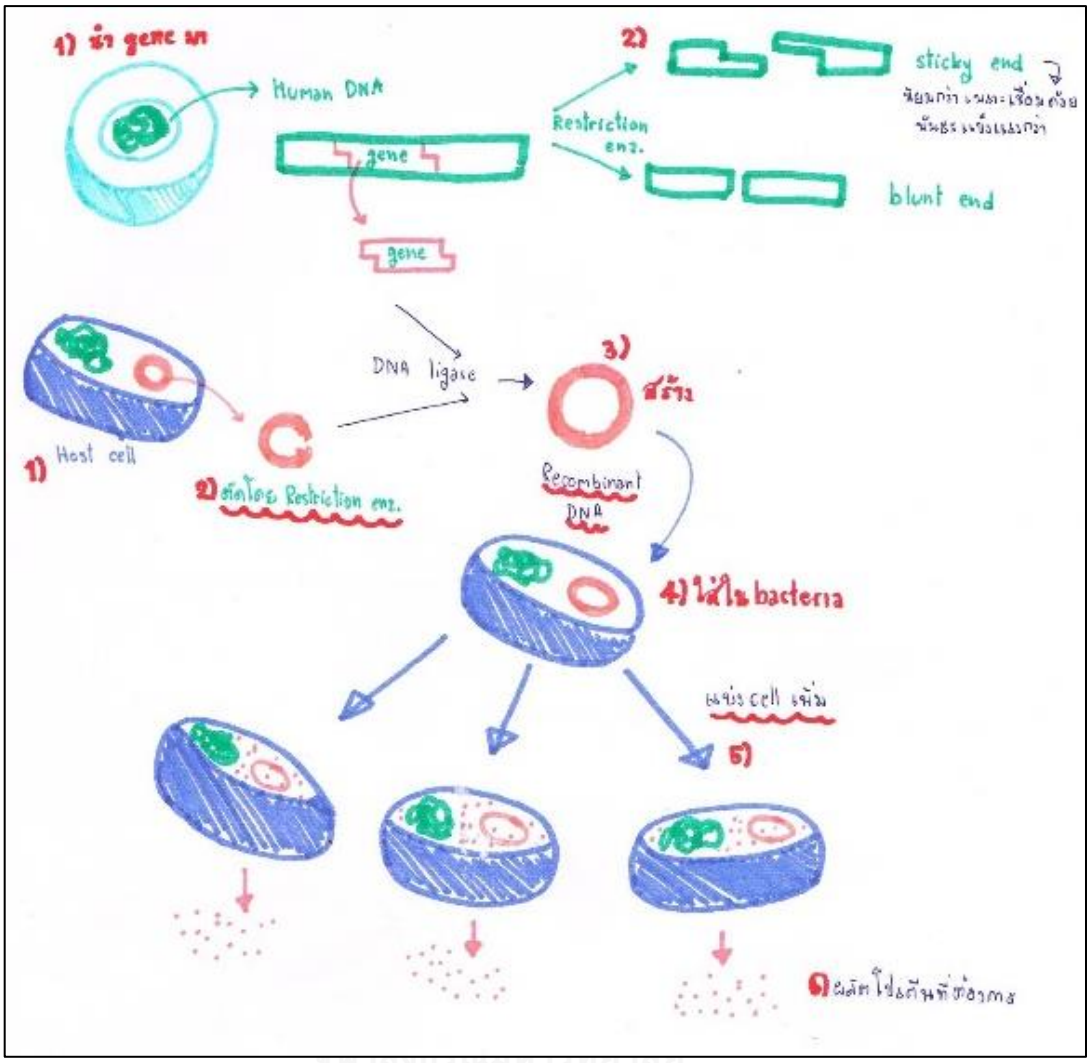
ยากของเนื้อหา ได้แก่ เนื้อหาเรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ และเนื้อหาเรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีดีเอ็นเอ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองในระดับพอใช้ ส่วนเนื้อหาที่มีความง่ายของเนื้อหา ได้แก่ เนื้อหาเรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการของมนุษย์ และเนื้อหาเรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดี

โดยมีรายละเอียดตัวอย่างกระบวนการและผลงานเกี่ยวกับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ความสามารถในการสร้างแบบจำลองในระดับดี
เรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ



แบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้น



แบบจำลองที่นักเรียนปรับปรุง

แผนภาพที่ 5 ตัวอย่างแบบจำลองเรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ ของนักเรียนในกลุ่มที่ 1

จากตัวอย่างแสดงความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี และมีรายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบ ดังนี้

1) นักเรียนสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดี เนื่องจากแสดงการเป็นตัวแทนของขั้นตอนการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอได้ครอบคลุม สามารถระบุขั้นตอนได้ครบถ้วน และมีการใช้ลูกศรเพื่อแสดงลำดับขั้นตอนที่เกิดขึ้นก่อนหลัง แต่นักเรียนสร้างแบบจำลองเชิงภาษา โดยการระบุเพียงข้อความสั้น ๆ ทำให้แบบจำลองไม่สามารถแสดงถึงความเข้าใจของนักเรียนต่อหลักการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอได้

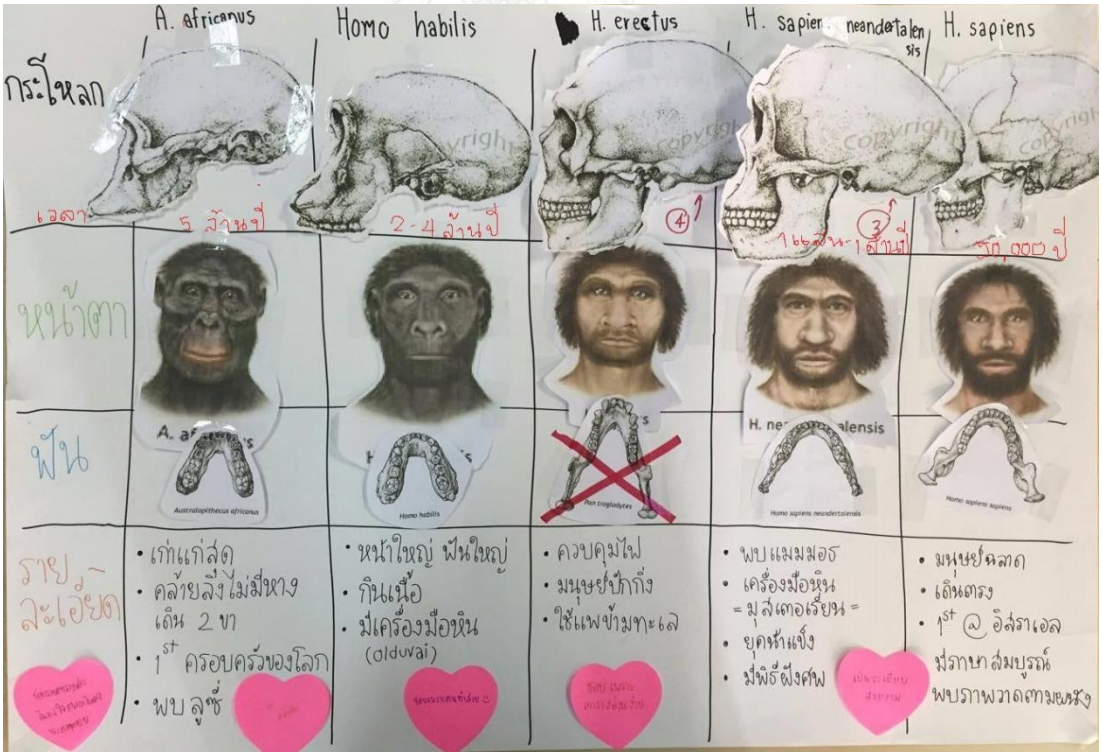
2) นักเรียนใช้แบบจำลองอยู่ในระดับดี โดยเลือกแบบจำลองเชิงภาพและแบบจำลองเชิงภาษาประกอบการอธิบายสอดคล้องกับแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้แบบจำลองแสดงขั้นตอนของการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังขาดการอธิบายถึงสัญลักษณ์บางอย่างในภาพ เช่น การใช้จุดเล็ก ๆ ในภาพ

3) นักเรียนประเมินแบบจำลองอยู่ในระดับพอใช้ โดยนักเรียนสามารถประเมินแบบจำลองได้ว่า แบบจำลองใดสามารถอธิบายหลักการและขั้นตอนของการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอได้ดีกว่าจากการลงมติของกลุ่ม แต่นักเรียนไม่ได้ระบุเหตุผลว่าแบบจำลองนั้นดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ อย่างไร รวมถึงนักเรียนเลือกแบบจำลองจากความสวยงาม ดังที่ระบุไว้ว่า “แบบจำลองของกลุ่มที่ 1 มีสีสันสวยงาม วาดภาพได้เป็นระเบียบ”

4) นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากนักเรียนปรับปรุงแบบจำลองให้มีความถูกต้องขึ้น โดยการระบุหมายเลขในขั้นตอน และปรับปรุงให้แบบจำลองมีความสวยงามขึ้น

ตัวอย่างที่ 2 ความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดี

เรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการของมนุษย์



แผนภาพที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองเรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการของมนุษย์ของนักเรียนในกลุ่มที่ 1

จากตัวอย่างแสดงความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี และมีรายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบ ดังนี้

1) นักเรียนสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากแสดงการเป็นตัวแทนของวิวัฒนาการมนุษย์ได้ส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ครอบคลุม โดยไม่ได้ระบุระยะเวลาที่บรรพบุรุษของมนุษย์สปีชีส์ต่าง ๆ มีชีวิตอยู่ และไม่แสดงถึงขนาดของสมองที่มีส่วนสำคัญทำให้มนุษย์รู้จักการใช้เครื่องมือ นักเรียนสามารถแสดงปรากฏการณ์ส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง โดยการเรียงลำดับกระโหลกศีรษะและฟันได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่

2) นักเรียนใช้แบบจำลองอยู่ในระดับดี โดยเลือกประเภทของแบบจำลองเชิงภาพและแบบจำลองเชิงภาษา มีการจัดระเบียบข้อมูลโดยการใช้ตาราง เพื่อช่วยในการระบุหัวข้อและรายละเอียด

3) นักเรียนประเมินแบบจำลองอยู่ในระดับดี โดยนักเรียนสามารถเปรียบเทียบแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นและแบบจำลองที่กลุ่มเพื่อนสร้างขึ้น นักเรียนเลือกแบบจำลองกลุ่มที่มีการใช้ลูกศรช่วยแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ทางสายวิวัฒนาการ โดยการระบุว่า “การใช้ลูกศรโยงจากหัวกะโหลกต่าง ๆ ทำให้เห็นชัดว่าลำดับเป็นอย่างไร” และประเมินข้อจำกัดของแบบจำลองกลุ่มตนเองว่า แบบจำลองยังไม่แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นลำดับ

4) นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองอยู่ในระดับดี เนื่องจากนักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อแสดงความเข้าใจที่มากขึ้น โดยใช้ปากกาสีแดงระบุช่วงเวลาที่มนุษย์สปีชีส์ต่าง ๆ มีชีวิตอยู่ เพื่อช่วยระบุข้อมูลความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ สอดคล้องกับการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อสะท้อนถึงความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลตัวอย่างในแผนภาพที่ 5 และ 6 และคำอธิบายเพิ่มเติม เมื่อทำการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 โดยเว้นระยะห่าง 4 สัปดาห์ พบว่านักเรียนมีพัฒนาการด้านการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง โดยเปลี่ยนจากระดับพอใช้เป็นระดับดี การใช้แบบจำลองของนักเรียนอยู่ในระดับเดิม คือ ระดับดี และการสร้างแบบจำลองของนักเรียนเปลี่ยนจากระดับดีเป็นระดับพอใช้

Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและวิวัฒนาการ

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาในงานวิจัยนี้ พิจารณาข้อมูลจาก 1) ผลการวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามพฤติกรรมการเรียนรู้ และ 2) ผลการวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการชีววิทยาตามเนื้อหา ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามพฤติกรรมการเรียนรู้

การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและวิวัฒนาการของนักเรียนตามพฤติกรรมการเรียนรู้ พิจารณาจากผลการทดสอบด้วยแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา เรื่องพันธุศาตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ซึ่งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน จากพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เป็นองค์ประกอบ 4 ด้าน คือ 1) ความรู้ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ โดยทำการทดสอบหลังเรียน จากนั้นนำคะแนนเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามแนวทางการประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) แสดงในตารางที่ 17 ดังนี้

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามพฤติกรรมการเรียนรู้

พฤติกรรมการเรียนรู้	$\overline{X}$	$\overline{X}_{ร้อยละ}$	S.D.	ระดับผลสัมฤทธิ์
1. ความรู้ความจำ	4.37	72.83	1.36	ดี
2. ความเข้าใจ	5.56	69.50	1.50	ดี
3. กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	7.67	76.70	1.41	ดี
4. การนำความรู้ไปใช้	3.56	59.33	1.28	ผ่านเกณฑ์
เฉลี่ยรวม	21.15	70.49	4.05	ดี

จากตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด พบว่านักเรียนมีคะแนนค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่ากับ 21.15 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.49 ซึ่งอยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาคะแนนแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ พบว่านักเรียนมี

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ความจำ เท่ากับ 4.37 คะแนน จากคะแนนเต็ม 6 คะแนน ด้านความเข้าใจ 5.56 คะแนน จากคะแนนเต็ม 8 คะแนน ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 7.67 คะแนน จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน และด้านการนำความรู้ไปใช้ 3.56 คะแนน จากคะแนนเต็ม 6 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 72.83 69.50 76.70 และ 59.33 ซึ่งอยู่ในระดับดีทั้งหมด ยกเว้นด้านการนำความรู้ไปใช้อยู่ในระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ ตามลำดับ

2) ผลการวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามเนื้อหา

การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการของนักเรียนตามเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ พิจารณาจากผลการทดสอบด้วยแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา เรื่องพันธุศาตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ซึ่งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน จากเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และเรื่องวิวัฒนาการ โดยทำการทดสอบหลังเรียน จากนั้นนำคะแนนเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามแนวทางการประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) แสดงในตารางที่ 18 ดังนี้

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามเนื้อหา

เนื้อหาบทที่	$\overline{X}$	$\overline{X}_{ร้อยละ}$	S.D.	ระดับผลสัมฤทธิ์
1. พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	10.26	68.4	2.62	พอใช้
2. วิวัฒนาการ	10.89	72.6	1.85	ดี
เฉลี่ยรวม	21.15	70.49	4.05	ดี

จากตารางที่ 18 เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการหลังจัดการเรียนรู้ พบว่านักเรียนมีคะแนนค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่ากับ 21.15 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.49 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาคะแนนแยกตามเนื้อหา พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา เรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอเท่ากับ 10.26 คะแนน จากคะแนนเต็ม 15 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 68.4 ซึ่งจัดอยู่ในระดับพอใช้ และเรื่องวิวัฒนาการเท่ากับ 10.89 คะแนน จากคะแนนเต็ม 15 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 72.6 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental design) โดยมีรูปแบบการวิจัยแบบ One group posttest only design คือ มีการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียน ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย 2 ข้อ คือ 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด และ 2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด โดยมีกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์–คณิตศาสตร์ (ห้องเรียนพิเศษคณิตศาสตร์) จำนวน 27 คน ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 20 คาบเรียน มีการเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการสร้างแบบจำลองหลังจัดการเรียนรู้จากผลงานและกระบวนการสร้างแบบจำลองของนักเรียน และเก็บรวบรวมคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังจัดการเรียนรู้จากแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา จากนั้นวิเคราะห์คะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาโดยใช้สถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\overline{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการวิจัย

1) นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 80.18 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

2) นักเรียนที่เรียนด้วยแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 70.49 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 80 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในวิชาชีววิทยาช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและวิวัฒนาการอยู่ในระดับดี การอภิปรายผลการวิจัยในครั้งนี้จำแนกเป็น 2 ประเด็น คือ 1) ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสาตร์ และ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ตามรายละเอียด ดังนี้

1) ผลของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

ผลการวิจัยสรุปว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลอง 12.83 คะแนน จากคะแนนเต็ม 16 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.18 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดี เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ที่กล่าวไว้ว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี คือ ร้อยละ 70 ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีจุดเด่น 2 ประการ ดังนี้

ประการที่หนึ่ง แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการสร้างแบบจำลอง (Tytler, Prain, et al., 2013) ทำให้หลักการเกี่ยวกับการสร้างตัวแทนความคิดสนับสนุนความสามารถในการสร้างแบบจำลองโดยตรง คือ นักเรียนสามารถสร้างและใช้แบบจำลอง เพื่อแสดงความเข้าใจและสามารถอธิบายความเข้าใจจากการเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดให้อยู่ในรูปแบบจำลองที่แสดงออก รวมถึงการสร้างตัวแทนความคิดทำให้นักเรียนสามารถประเมินและปรับปรุงแบบจำลองได้ จากการอภิปรายตัวแทนความคิดผ่านการระบุข้อดี-ข้อจำกัดของแบบจำลอง เพื่อแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Löhner et al. (2003) ที่ทำการศึกษาผลของการใช้ตัวแทนความคิดที่มีต่อกระบวนการในการสร้างแบบจำลอง และพบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยตัวแทนความคิดส่งผลต่อกระบวนการสร้างแบบจำลองในรายวิชาฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และงานวิจัยของ Hubber (2010) ที่กล่าวว่า แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้าง ลงความเห็น และตรวจสอบความถูกต้องของตัวแทนความคิด

ประการที่สอง การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน โดยการแสดงข้อสนับสนุนหรือข้อโต้แย้งพร้อมทั้งการให้เหตุผลประกอบ จากการอภิปราย 2 ประการ คือ 1) การอภิปรายของนักเรียนในกลุ่มย่อย ทำให้นักเรียนได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของตนเองจากข้อบกพร่องหรือข้อจำกัดของตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่สร้างขึ้น ตรวจสอบความเหมาะสมและความพอเพียงของ

ตัวแทนความคิด/แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ และ 2) การอภิปรายร่วมกันในห้องเรียนจากการนำอภิปรายของครู ทำให้นักเรียนได้ตรวจสอบแบบจำลองที่เป็นข้อสรุปของทั้งห้องเรียน ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลอง และนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ นักเรียนสามารถเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้เหมาะสม และครอบคลุมกับการอธิบายปรากฏการณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยะณัฐ นันทการณ์ (2551) ที่ทำการศึกษาผลของการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่มีต่อมโนทัศน์ทางชีววิทยาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากการได้รับผลการสะท้อนกลับ (Reflection) จากครูและเพื่อนในระหว่างการอภิปราย ทำให้นักเรียนเกิดประสบการณ์สามารถนำความรู้ไปพัฒนาแบบจำลองของตนเอง

เมื่อพิจารณาถึงพัฒนาการความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากเนื้อหาชีววิทยาในเรื่องต่าง ๆ พบว่านักเรียนมีแนวโน้มการพัฒนาระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่สูงขึ้น จากการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทั้ง 4 ครั้ง คือ 1) เรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ 2) เรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ 3) เรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ และ 4) เรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทางชีวภาพ นักเรียนมีพัฒนาการระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองในระดับพอใช้ ระดับพอใช้ ระดับดี และระดับดี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการที่นักเรียนมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่สูงขึ้น อาจเกิดจากความยากง่ายของเนื้อหา กล่าวคือ เนื้อหาเรื่อง พันธุวิศวกรรมและการสร้างรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ และเนื้อหาเรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมีความยากของเนื้อหามากกว่าเนื้อหาเรื่อง กำเนิดสปีชีส์และวิวัฒนาการมนุษย์ และเนื้อหาเรื่อง ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทางชีวภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาที่นักเรียนมีระดับผลสัมฤทธิ์ในบทพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพในระดับพอใช้ และมีระดับผลสัมฤทธิ์ในบทวิวัฒนาการในระดับดี เนื่องมาจากการสร้างแบบจำลองต้องอาศัยกระบวนการแปลความหมายข้อมูล หากปรากฏการณ์หรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นั้นมีความยากต่อการทำความเข้าใจ ส่งผลทำให้นักเรียนแปลความหมายในรูปแบบของแบบจำลองได้ยาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sins, Savelsbergh, van Joolingen, and van Hout-Wolters (2009) ที่กล่าวว่า การสร้างแบบจำลองขึ้นอยู่กับความรู้พื้นฐานและกระบวนการทางปัญญา และงานวิจัยของ Spitulnik, Krajcik, and Soloway (1999) ที่กล่าวว่า กระบวนการสร้างแบบจำลองของนักเรียนจะแตกต่างกันเมื่อกำหนดสภาพแวดล้อม หรือกำหนดข้อจำกัดในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ แม้ว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนจะอยู่ในระดับดี ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 อย่างไรตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของการปรับปรุงแบบจำลอง พบว่าในการปรับปรุงแบบจำลองของนักเรียนยังอยู่ในระดับพอใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปรับปรุงแบบจำลองเป็นองค์ประกอบที่เกิดขึ้นในเป็นลำดับสุดท้ายของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง คือ นักเรียนจะต้องสร้างแบบจำลอง ใช้แบบจำลอง ประเมินแบบจำลองก่อนจึงจะนำมาสู่การปรับปรุงแบบจำลองเพื่อแสดงความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อนักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองได้อยู่ในระดับดีแล้ว ทำให้แบบจำลองของนักเรียนมีจุดบกพร่องหรือข้อจำกัดที่น้อย ซึ่งทำให้นักเรียนไม่ปรับปรุงแบบจำลองหรือปรับปรุงแบบจำลองแต่ไม่แสดงความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยรวมของการปรับปรุงแบบจำลองไม่เป็นไปตามสมมติฐาน คือ ระดับดี รวมถึงการพัฒนาการปรับปรุงแบบจำลองจำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาในการฝึกฝน เนื่องจากในการปรับปรุงแบบจำลองครั้งแรก ๆ นักเรียนยังไม่คุ้นชินกับการประเมินแบบจำลอง ข้อสังเกตในระหว่างการทำวิจัย พบว่านักเรียนสามารถประเมินและปรับปรุงแบบจำลองได้ดีขึ้นหลังจากผ่านการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารของ Eilam (2013) ที่กล่าวว่าการสร้างแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลองที่แสดงกระบวนการทำงานได้อย่างชัดเจนค่อนข้างยากและมีความซับซ้อน รวมถึงต้องอาศัยระยะเวลาการฝึกฝนที่มาก

2) ผลของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยี และวิวัฒนาการ

ผลการวิจัยสรุปว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียน 21.15 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.49 จัดอยู่ในระดับดี ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสมมติฐานข้อที่ 2 ที่กล่าวไว้ว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาอยู่ในระดับดีมาก คือ ร้อยละ 80 ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาจเนื่องมาจากช่วงคะแนนที่ตั้งไว้อยู่ในช่วงที่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดช่วยให้นักเรียนได้มีโอกาสในการแปลความหมายข้อมูลและสร้างตัวแทนความคิดเกี่ยวกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ สรุปสิ่งที่ได้ค้นพบให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น และการปรับปรุงตัวแทนความคิด/แบบจำลองนำไปสู่การสร้างความรู้ในเชิงลึก (Bryce et al., 2016) รวมถึงตัวแทนความคิดช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างมโนภาพ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยา (Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002)

เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามพฤติกรรมการเรียนรู้ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความรู้ความจำ 2) ด้านความเข้าใจ 3) ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) ด้านการนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ พบว่า พฤติกรรมการเรียนรู้ด้านความรู้ความจำ พฤติกรรมการเรียนรู้ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านความเข้าใจอยู่ในระดับดี ส่วนพฤติกรรมด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ยังอยู่ในระดับที่ผ่านเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามแนวทางการประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผล ดังนี้

1) ด้านความรู้ความจำ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับดี เนื่องมาจากนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ห้องเรียนพิเศษคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนมีความรู้พื้นฐานอยู่ในระดับดี หรืออาจเกิดจากกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองผ่านกิจกรรมในห้องเรียน และการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนได้สรุปความรู้ของตนเองผ่านการใช้ตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่ครูออกแบบขึ้น และตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่นักเรียนเป็นผู้สร้างตามความเหมาะสมของการอธิบายปรากฏการณ์ ทำให้นักเรียนมีโอกาสเชื่อมโยงแต่ละตัวแทนความคิดเข้าด้วยกัน และทำให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาถึง 2 ครั้ง ช่วยสนับสนุนการจดจำเนื้อหาของนักเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cook (2006) ที่กล่าวว่าการใช้ตัวแทนความคิดร่วมกันตั้งแต่ 2 วิธีการ (Dual-mode) ขึ้นไป โดยเฉพาะตัวแทนความคิดเชิงภาพและเชิงภาษาช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและช่วยเพิ่มความสามารถในการจดจำเนื้อหาได้ดีกว่าการใช้เพียงตัวแทนความคิดวิธีการเดียว แสดงการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการจัดการเรียนรู้จากแผนภาพที่ 7

แผนภาพที่ 7 ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการจัดการเรียนรู้

2) ด้านความเข้าใจ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี เนื่องมาจากการที่นักเรียนได้ฝึกการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ผ่านการสร้างมโนภาพ และจากหลักการของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดในหลักการที่ 3 การเรียนรู้อย่างมีความหมาย มีส่วนช่วยสนับสนุนการสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eilam (2013) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้ด้วยตัวแทนความคิดที่หลากหลายช่วยสนับสนุนการสร้างความรู้ ความเข้าใจ และการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวแทนความคิดจากรูปแบบหนึ่งไปยังรูปแบบอื่น และงานวิจัยของ Ainsworth, Prain, and Tytler (2011) ที่กล่าวว่า ตัวแทนความคิดช่วยเชื่อมต่อลักษณะของปรากฏการณ์ที่หลากหลาย ช่วยให้เข้าใจวิทยาศาสตร์ในเชิงลึก และสามารถสื่อสารแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากหลักการของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดสามารถเทียบเคียงได้กับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ หลักการย่อย 1ข. การสร้างตัวแทนความคิด ในหลักการนี้นักเรียนต้องสำรวจและระบุปัญหาของปรากฏการณ์ เพื่อนำมาสู่การสร้างคำอธิบายด้วยตัวแทนความคิด/แบบจำลองเบื้องต้นเปรียบเทียบได้กับขั้นตอนการระบุปัญหาหรือคำถาม ขั้นตอนการตั้งสมมติฐาน และขั้นตอนการออกแบบการทดลองหรือออกแบบการรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นขั้นตอนของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และในหลักการที่ 2 การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน และหลักการที่ 4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิดช่วยให้นักเรียนตรวจสอบตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่สร้างขึ้นว่ามีความเพียงพอหรือเหมาะสมต่อการอธิบายปรากฏการณ์หรือไม่ หากไม่เพียงพอนักเรียนจะต้องปรับปรุงตัวแทนความคิด/แบบจำลองเปรียบเทียบได้กับขั้นตอนวิเคราะห์และสื่อความหมาย และขั้นตอนการแปลความหมายข้อมูลและนำสู่การสรุปผลของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้การที่นักเรียนได้ฝึกการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ผ่านกิจกรรมเกี่ยวกับแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด ทำให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย เช่น ทักษะการสังเกต ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการลงความเห็นข้อมูล เป็นต้น (Wu & Puntambekar, 2012)

4) ด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาในพฤติกรรมด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้อยู่ในระดับผ่านเกณฑ์ อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยเป็นในลักษณะของแบบจำลองที่นำมาใช้เพื่อแสดงความเข้าใจ และอธิบายความเข้าใจมากกว่าแบบจำลองที่เน้นไปเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ใหม่

เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาตามเนื้อหา 2 เรื่อง คือ 1) พันธุศาสตร์และเทคโนโลยี และ 2) วิวัฒนาการ พบว่า นักเรียนมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีอยู่ในระดับพอใช้ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง วิวัฒนาการอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็น

ว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยตัวแทนความคิดที่หลากหลายเหมาะสมสำหรับเนื้อหาชีววิทยาเรื่องวิวัฒนาการ เนื่องมาจากวิวัฒนาการเป็นเรื่องที่มีข้อจำกัดของเวลา ทำให้นักเรียนไม่สามารถสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดได้โดยตรง สอดคล้องกับเอกสารของ Bryce et al. (2016) ที่กล่าวว่า การใช้แบบจำลองมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับลักษณะที่สามารถสังเกตได้และลักษณะที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยประสาทสัมผัสของบุคคลหรือการใช้เทคโนโลยี เหตุการณ์หรือกระบวนการที่มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด เช่น อะตอม และจักรวาล หรือมีข้อจำกัดของระยะเวลา เช่น วิวัฒนาการ เป็นต้น ส่วนเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเออยู่ในระดับพอใช้ อาจเนื่องมาจากเนื้อหาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเรื่องที่ยากต่อการจัดการเรียนรู้ของครูและยากต่อการเข้าใจของนักเรียน และเนื้อหามีความซับซ้อน (สุนัดดา โยมญาติ, 2558)

ข้อเสนอแนะ

จากการนำผลของแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้และการทำวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

1) ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

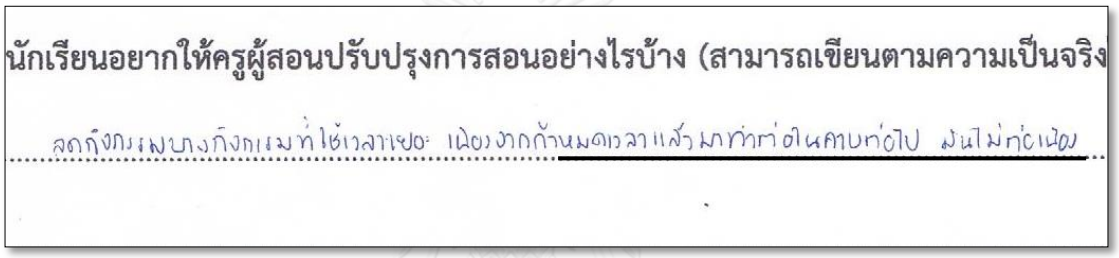
งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ ดังนี้

1.1) จากการศึกษาเกี่ยวกับการนำตัวแทนความความคิด/แบบจำลองมาใช้ในการวิจัย พบว่าเนื้อหาบทเรียนชีววิทยาที่เหมาะสมหรือเอื้อต่อการใช้แนวคิดนี้มีลักษณะ 3 ประการ ได้แก่ 1) บทเรียนที่ไม่สามารถสังเกตเชิงประจักษ์ ด้วยข้อจำกัดของขนาดและระยะเวลา 2) บทเรียนที่มีกระบวนการหรือขั้นตอนที่ซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจ และ 3) บทเรียนที่เป็นลักษณะของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ สมการ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ ส่วนเนื้อหาบทเรียนที่ไม่เอื้อต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ตัวแทนความคิดหรือแบบจำลองมีลักษณะ คือ เป็นเนื้อหาชีววิทยาที่สามารถเรียนรู้ได้จากตัวอย่างจริง

1.2) เนื่องจากแบบจำลอง 5 ประเภท ได้แก่ 1) แบบจำลองเชิงรูปธรรม 2) แบบจำลองเชิงภาษา 3) แบบจำลองเชิงสัญลักษณ์ 4) แบบจำลองเชิงภาพ และ 5) แบบจำลองเชิงท่าทาง มีวัตถุประสงค์ในการเป็นตัวแทน รวมถึงมีข้อดี-ข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การสร้างและใช้แบบจำลองบางประเภท เช่น สมการทางคณิตศาสตร์ และแผนผังต่าง ๆ เป็นต้น นักเรียนอาจไม่คุ้นเคยหรือไม่รู้จัก ครูผู้สอนจึงควรมีการเตรียมความพร้อม เช่น อาจแสดงตัวอย่างของแบบจำลองเพื่อเป็นแนวทางสำหรับนักเรียนในการสร้างและเลือกใช้แบบจำลอง เป็นต้น

1.3) ในการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง ครูผู้สอนควรกำหนดเป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนบรรลุผลและกำหนดประเด็นการประเมินให้ชัดเจน โดยการระบุเป้าหมายลงบนกระดาน ฉายผ่านโปรเจคเตอร์ หรือระบุลงในแบบบันทึกกิจกรรม เพื่อแนวทางในการประเมินได้อย่างเหมาะสม เพราะในระหว่างการปฏิบัตินักเรียนอาจคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น การใช้เวลามากในการตกแต่งแบบจำลองให้สวยงามมากกว่าคำนึงความเหมาะสมของตัวแทนความคิด/แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์

1.4) ครูผู้สอนควรจัดกิจกรรมภายในคาบเรียนที่ติดกัน ไม่ควรแยกการทำกิจกรรมออกเป็นหลาย ๆ คาบเรียน เนื่องจากนักเรียนอาจเกิดความสับสนหรือเกิดความคิดที่คลาดเคลื่อนจากความไม่ต่อเนื่องของกิจกรรม แสดงให้เห็นจากข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ของนักเรียนเลขที่ 27 ดังแผนภาพที่ 8



แผนภาพที่ 8 ข้อมูลย้อนกลับจากนักเรียนเลขที่ 27

1.5) ในระหว่างการอภิปรายตัวแทนความคิดร่วมกัน นักเรียนบางคนไม่แสดงความคิดเห็นหรือไม่กล้าแสดงความคิดเห็นออกมา ทำให้การอภิปรายตัวแทนความคิด/แบบจำลองเกิดจากนักเรียนเพียงบางคนหรือบางกลุ่มเป็นหลัก โดยเฉพาะนักเรียนที่เก่งและได้รับการยอมรับจากเพื่อนในห้องเรียน ก่อนการอภิปรายโดยการพูด การซักถาม และการโต้แย้ง ครูผู้สอนอาจให้นักเรียนแต่ละคนเขียนประเด็นการประเมินตัวแทนความคิด/แบบจำลองออกมาก่อน เพื่อให้การอภิปรายเป็นมติร่วมกันทั้งห้องเรียน

2) ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการทำการวิจัย ดังนี้

2.1) เนื่องจากในการทำวิจัยครั้งนี้ ประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยพิจารณาทั้งกระบวนการและผลงานที่เป็นแบบจำลองของนักเรียน ทำให้การประเมินเป็นไปแบบภาพรวมมากกว่าการเจาะลงไปในรายละเอียด และในแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผนอาจมีความยากง่ายต่อกระบวนการสร้างแบบจำลองไม่เท่ากัน ในการทำวิจัยครั้งต่อไปจึง

อาจเพิ่มการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองโดยวิธีอื่น ๆ ประกอบ เช่น แบบสอบถาม การสัมภาษณ์ร่วมกับการสะท้อนคิด (Reflection) จากนักเรียนเพิ่มเติม

2.2) เนื่องจากในการทำการวิจัยครั้งนี้ มีนักเรียนกลุ่มเดียว คือ นักเรียนห้องเรียนพิเศษคณิตศาสตร์ในโรงเรียนที่มีความพร้อมแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นนักเรียนกลุ่มที่มีความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี ทำให้งานวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปยังบริบทของนักเรียนกลุ่มทั่วไปได้ ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจทำการศึกษาผลของการใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาไปใช้กับนักเรียนกลุ่มทั่วไปด้วย

2.3) ในงานวิจัยครั้งต่อไป อาจนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการการสร้างตัวแทนความคิดไปพัฒนาความสามารถด้านอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากในระหว่างการจัดการเรียนรู้ในหลักการที่ 2 การอภิปรายตัวแทนความคิดให้ชัดเจน นักเรียนมีการแสดงการโต้แย้ง โดยการแสดงความคิดเห็นและประเมินเกี่ยวกับข้อดี-ข้อบกพร่องของตัวแทนความคิด/แบบจำลองพร้อมการแสดงเหตุผลประกอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science,* 333(6046), 1096-1097.

Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education,* 35(2), 213-238. doi:10.1080/09500693.2011.624133.

Bryce, C. M., Baliga, V. B., De Nesnera, K. L., Fiack, D., Goetz, K., Tarjan, L. M., Bard, D. G. (2016). Exploring models in the biology classroom. *The American Biology Teacher,* 78(1), 35-42.

Carolan, J., Prain, V., & Waldrip, B. (2008). Using representations for teaching and learning in science. *Teaching Science [P],* 54(1), 18-23.

Carter, V. (1959). Good, dictionary of education: New York: McGraw-Hill Book Co.

Cartier, J., Rudolph, J., & Stewart, J. (2001). The nature and structure of scientific models: National Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science.

Chang, S.-N. (2008). The learning effect of modeling ability instruction. Paper presented at the Asia-pacific forum on science learning and teaching.

Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science education,* 90(6), 1073-1091.

Eilam, B. (2013). Possible constraints of Visualization in Biology: Challenges in learning with multiple representations. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 55-73). Dordrecht: Springer Netherlands.

Everett, S. A., Otto, C. A., & Luera, G. R. (2009). Preservice elementary teacher' growth in knowledge of models in a science capstone course. *International Journal*

of Science and Mathematics Education, 7(6), 1201-1225. doi:10.1007/s10763-009-9158-y.

Fortus, D., Rosenfeld, S., & Shwartz, Y. (2010). High school students' modeling knowledge. Paper presented at the annual conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Philadelphia, PA.

Gilbert. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 2(2), 115-130.

Gilbert, & Ireton, S. W. (2003). Understanding models in earth & space science: NSTA press.

Gilbert, & Justi, R. (2016). Modelling-based Teaching in Science Education (Vol. 9): Springer.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching,* 28(9), 799-822.

Halverson, K. L., & Friedrichsen, P. (2013). Learning Tree Thinking: Developing a New Framework of Representational Competence. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 185-201). Dordrecht: Springer Netherlands.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education,* 22(9), 1011-1026. doi:10.1080/095006900416884.

Hoskinson, A.-M., Couch, B. A., Zwickl, B. M., Hinko, K. A., & Caballero, M. D. (2014). Bridging physics and biology teaching through modeling. *American Journal of Physics,* 82(5), 434-441.

Hubber, P. (2010). Year 8 students' understanding of astronomy as a representational issue: Insights from a classroom video study. Paper presented at the Physics community and cooperation: Selected contributions from the GIREP-EPEC & PHEC 2009 International Conference.

Hubber, P., Tytler, R., & Haslam, F. (2010). Teaching and Learning about Force with a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change. *Research in Science Education,* 40(1), 5-28. doi:10.1007/s11165-009-9154-9.

Hung, J.-F., Lin, J.-C., Macias, N. J., Athanas, P. M., Yongsik, N., Youngsik, K., Wolf, D. F. (2009). The Development of the simulation modeling system and modeling ability evaluation. *International Journal of u-and e-Service. Science and Technology* (2. 4)*, National Kaohsiung Normal University. Taiwan*.

Jia, Q. (2010). A brief study on the implication of constructivism teaching theory on classroom teaching reform in basic education. *International Education Studies,* 3(2), 197.

Jong, J. P., Chiu, M. H., & Chung, S. L. (2015). The use of modeling‐based text to improve students' modeling competencies. *Science education,* 99(5), 986-1018.

Klopfer, L. E. (1971). Handbook on formative and summative evaluation of student learning. USA: McGraw-Hill Inc.

Krajcik, J., & Merritt, J. (2012). Engaging students in scientific practices: what does constructing and revising models look like in the science classroom? *Science and Children,* 49(7), 10.

Lehrer, R., Schauble, L., & Glaser, R. (2000). Modeling in mathematics and science. *Advances in instructional psychology. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates*, 101-105.

Lesh, R., Lester, F. K., & Hjalmarson, M. (2003). A models and modeling perspective on metacognitive functioning in everyday situations where problem solvers develop mathematical constructs. *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching*, 383-403.

Löhner, S., Van Joolingen, W. R., & Savelsbergh, E. R. (2003). The effect of external representation on constructing computer models of complex phenomena. *Instructional Science,* 31(6), 395-418. doi:10.1023/a:1025746813683.

Martínez-Solano, J. F. (2016). Wenceslao J. Gonzalez : Bas van Fraassen’s approach to representation and models in science. *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie,* 47(1), 261-264.

National Research Council. (2011, 28 april 2016). Appendix F- science and engineering practices in the NGSS. In Next Generation Science Standarda: For States, By

States.[Online]. Retrieved from http://www.nextgenscience.org/sites/default/files/Appendix%20F%20%20Science%20and%20Engineering%20Practices%20in%20the%20NGSS%20-%20FINAL%20060513.pdf.

Nicolaou, & Constantinou. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review,* 13, 52-73. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001.

OECD. (2016). *PISA* 2015 *Results (Volume I)*: OECD Publishing.

Papaevripidou, M., Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). On defining and assessing learners' modelling competence in science teaching and learning. paper presented at the annual meeting of american educational research association (AERA), Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Prins, G. T., Bulte, A. M. W., Van Driel, J. H., & Pilot, A. (2009). Students' involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education,* 39(5), 681-700. doi:10.1007/s11165-008-9099-4.

Rapp, D. N., & Sengupta, P. (2012). Models and modeling in science learning. *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2320-2322): Springer.

Schademan, A. R. (2014). Building connection between a cultural practice and modelling in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 13(6), 1425-1448. doi:10.1007/s10763-014-9554-9.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., 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.

Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction,* 23(2), 165-205.

Schweingruber, H., Keller, T., & Quinn, H. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas: National Academies Press.

Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). The elation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education,* 31(9), 1205-1229. doi:10.1080/09500690802192181.

Spitulnik, M. W., Krajcik, J., & Soloway, E. (1999). Construction of models to promote scientific understanding. In W. Feurzeig & N. Roberts (Eds.), *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education* (pp. 70-94). New York, NY: Springer New York.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education,* 24(4), 357-368. doi:10.1080/09500690110066485.

Tytler, R., Hubber, P., Prain, V., & Waldrip, B. (2013). A Representation Construction Approach. In R. Tytler, V. Prain, P. Hubber, & B. Waldrip (Eds.), *Constructing Representations to Learn in Science* (pp. 31-50). Rotterdam: SensePublishers.

Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrip, B. (2013). *Constructing representations to learn in science*: Springer Science & Business Media.

Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. *Research in Science Education,* 40(1), 65-80.

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science education,* 92(5), 941-967.

Wu, H.-K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology,* 21(6), 754-767. doi:10.1007/s10956-011-9363-7

Yildirim, T. P. (2011). Understanding the modeling skill shift in engineering: the impace of self-efficacy, epistemology, and metacognition. University of Pittsburgh.

Chulalongkorn University

ภาษาไทย

กระทรวงศึกษาธิการ, (2551). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

โชติกา ภาษีผล ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง และกมลวรรณ ตังธนกานนท์. (2558). *การวัดและประเมินผลการเรียนรู้*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การเลี้ยงสุนัขสายพันธุ์พุดเดิ้ล Poodle toy ทอย. (2557). [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2559 จาก http://www.dogdogbogbog.com/dogbreed/dog-poodle.html.

ทิศนา แขมมณี. (2552). *ศาสตร์การสอน องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 10)*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะณัฐ นันทการณ์. (2551). *ผลของการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่มีต่อมโนทัศน์ทางชีววิทยาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย* (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข. (2548). *วิธีวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป. กรุงเทพมหานคร*: บริษัทพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พ.ว.) จำกัด.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

วิยฉัตร พูนพิพัฒน์. (2556). *ผลของการจัดการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายที่มีต่อมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวัฒนาการมนุษย์ Evolution. (2557). [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2559 จาก http://volutionman.blogspot.com/p/1-1.html.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2552). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). *การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพมหานคร: สถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554a). *คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ชีววิทยา เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 - 6*. กรุงเทพมหานคร: องค์การค้าของคุรุสภา.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554b). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 - 6*. กรุงเทพมหานคร: องค์การค้าของคุรุสภา.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2545). *แนวทางการวัดผลประเมินผลในชั้นเรียน กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัศดุภัณฑ์ (ร.ส.พ.).

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2552). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สุนัดดา โยมญาติ. (2558). สื่อการสอนเรื่อง พันธุศาสตร์ระดับโมเลกุล และพันธุวิศวกรรมศาสตร์ การโคลนยีน โดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย. *นิตยสาร สสวท*., ปีที่ 44(ฉบับที่ 197), 3-6.

สุรชัย มีชาญ. (2547). ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน. *วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์,* ฉบับที่ 2(ปีที่ 10), 114-125.

สุวัฒน์ นิยมค้า. (2531). *ทฤษฎีและทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เล่ม 1-2. กรุงเทพมหานคร*: เจเนอรัลบุ๊คส์เซนเตอร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนียา รัตนฤาทัย นพรัตน์แจ่มจำรัส	อาจารย์ประจำสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ	อาจารย์ประจำภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ธันยมลธ์ จตุรวิทย์กุล	ข้าราชการครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีวิทยา

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ฝ่ายคำตา	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีราพร พันธุ์ธีรานุรักษ์	อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อาจารย์ ธันยมลธ์ จตุรวิทย์กุล	ข้าราชการครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีวิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีระวรรณ เกษสิงห์	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีราพร พันธุ์ธีรานุรักษ์	อาจารย์ประจำ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ชัชญาภา บูรณ์ญเพ็ชร	ข้าราชการครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีวิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2. แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ครั้งที่ ..... แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ..... กลุ่มที่ ..... เลขที่ .....

แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง

1. แบบประเมินฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยสังเกตจากกระบวนการปฏิบัติระหว่างการจัดการเรียนการสอนตามแนว คิดการสร้างตัวแทนความคิด

2. แบบประเมินฉบับนี้ ใช้เกณฑ์การประเมินแบบแยกแยะประเด็น (Analytic Rubrics) ในการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการในการสร้างแบบจำลอง 4 รายการ ได้แก่ กระบวนการสร้างแบบจำลอง กระบวนการใช้แบบจำลอง กระบวนประเมินแบบจำลอง และกระบวนการปรับปรุงแบบจำลอง โดยแต่ละรายการมีระดับคะแนน 4 ระดับ ดังนั้นคะแนนของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในช่วง 4-16 คะแนน โดยมีเกณฑ์ระดับความสามารถ ดังนี้

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
14-16	ดีมาก
11-13	ดี
8-10	พอใช้
4-7	ปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	ระดับคะแนน				คะแนน
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)	
1. การสร้างแบบจำลอง	• นักเรียนสร้างแบบจำลองที่แสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม • นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองได้ถูกต้องทั้งหมด	• นักเรียนสร้างแบบจำลองแสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม • นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง	• นักเรียนสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์โดยแสดงองค์ประกอบส่วนใหญ่ของปรากฏการณ์ แต่ไม่ครอบคลุมทุกองค์ประกอบ • นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองได้ถูกต้องเพียงบางส่วน	• นักเรียนสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของปรากฏการ์ในระดับเบื้องต้น องค์ประกอบที่ใช้แทนปรากฏการณ์ส่วนใหญ่ขาดหายไป • นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองไม่ถูกต้อง หรือไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้	
2. การใช้แบบจำลอง	• นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้ตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ • นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์หรือปรากฏการณ์ใหม่ได้ถูกต้องทั้งหมด	• นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้ค่อนข้างตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ • นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ส่วนใหญ่ถูกต้อง (ร้อยละ 60 ขึ้นไป)	• นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองที่ได้ไม่ตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ • นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ถูกต้องบางส่วน (ร้อยละ 30-50)	• นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองที่ได้ไม่ตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ • นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ไม่ถูกต้อง (ต่ำกว่าร้อยละ 30)	

รายการประเมิน	ระดับคะแนน				คะแนน
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)	
3. การประเมินแบบจำลอง	• นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดี และข้อจำกัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้ • นักเรียนสามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า และดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	• นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดี และข้อจำกัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้ • นักเรียนสามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	• นักเรียนสามารถเปรียบเทียบแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้ แต่ไม่ระบุข้อดี - ข้อจำกัดของแบบจำลอง • นักเรียนไม่สามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า	• นักเรียนไม่สามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนสร้างขึ้นได้ • นักเรียนไม่สามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า	
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	• นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง • นักเรียนแสดงรายละเอียดที่แสดงถึงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น ทำให้แบบจำลองแสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม	• นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง • นักเรียนแสดงรายละเอียดที่แสดงถึงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น แต่แบบจำลองยังแสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ไม่ครอบคลุม	• นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง แต่ไม่แสดงรายละเอียดถึงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์	• นักเรียนไม่มีการปรับปรุงแบบจำลอง	

ชื่อ ..... ชั้น ..... เลขที่ .....

แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

คำชี้แจง

1. แบบนี้เป็นแบบสอบเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง พันธุศาสตร์ทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

2. แบบสอบฉบับนี้มีข้อสอบจำนวน 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนน คือ ตอบถูกได้ 1 คะแนน ตอบผิดหรือไม่ตอบจะไม่ได้คะแนน

3. แบบสอบฉบับนี้ประกอบด้วยข้อสอบแบบเลือกตอบหลายตัวเลือก ซึ่งมีคำตอบให้เลือก 4 ตัวเลือก ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียง 1 คำตอบ แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบที่แนบมากับแบบสอบ

4. นักเรียนมีเวลาในการทำข้อสอบฉบับนี้ 50 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขอขอบคุณนักเรียนทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทำแบบสอบชุดนี้ด้วยความตั้งใจ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ต่อไป

1. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้องเกี่ยวกับพันธุวิศวกรรม

ก. พันธุวิศวกรรมจัดเป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับพันธุศาสตร์ระดับโมเลกุล

ข. พันธุวิศวกรรมเป็นการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมโดยการตัดต่อยีนหรือดีเอ็นเอที่ต้องการ

ค. พันธุวิศวกรรมที่ใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันจะตัดสายดีเอ็นเอจำเพาะต่างกันในสิ่งมีชีวิตคนละชนิด

ง. พันธุวิศวกรรมจำเป็นต้องอาศัย DNA vector, Restriction enzyme, DNA ligase และ DNA polymerase

1. ข้อ ก และ ข 2. ข้อ ข และ ค 3. ข้อ ค และ ง 4. ข้อ ก และ ง

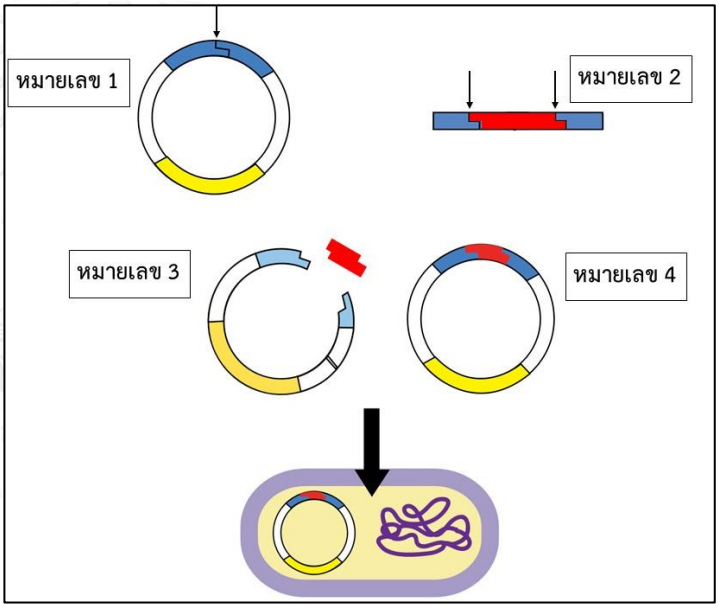
(วัดความรู้ความจำเกี่ยวกับความหมายและหลักการของพันธุวิศวกรรม)

จากภาพแสดงกระบวนการพันธุวิศวกรรมโดยการตัดต่อยีน จงตอบคำถามข้อที่ 2-3

2. หมายเลขใด คือ Recombinant DNA

1. หมายเลข 1
2. หมายเลข 2
3. หมายเลข 3
4. หมายเลข 4

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของ Recombinant DNA)



ภาพ กระบวนการพันธุวิศวกรรมโดยการตัดต่อยีน
ที่มา: สุนัดดา โยมญาติ (2558)

3. หมายเลขใดที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ DNA ligase

1. หมายเลข 1
2. หมายเลข 2
3. หมายเลข 3
4. หมายเลข 4

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของพันธุวิศวกรรม)

4. กำหนดให้อักษรต่างๆ ต่อไปนี้แทนขั้นตอนการทำ recombinant DNA

ก. แยก DNA ออกจากเซลล์ผู้ให้ที่มียีนที่ต้องการ

ข. คัดเลือกเซลล์ของแบคทีเรีย (E.coli) ที่มียีนที่ต้องการ

ค. นำ Recombinant DNA เข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย (E.coli)

ง. เชื่อมต่อ DNA ชิ้นย่อยๆ กับ DNA พาหะ ด้วยเอนไซม์ไลเกส

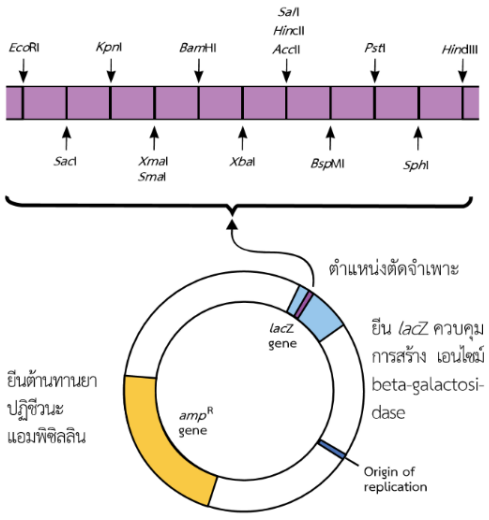
จ. ตัด DNA ที่มียีนที่ต้องการเป็นชิ้นย่อยๆ ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ

ข้อใดเรียงลำดับขั้นตอนของการทำ Recombinant DNA ได้ถูกต้อง

1. ข. → ก. → จ. → ง. → ค.
2. ก. → จ. → ง. → ค. → ข.
3. ข. → ค. → ก. → ง. → จ.
4. จ. → ง. → ค. → ข. → ก.

(วัดความรู้ความจำเกี่ยวกับขั้นตอนของ recombinant DNA)

5. จากการโคลนดีเอ็นเอโดยอาศัยการแทรกยีนเข้าในยีน *lac Z* ของพลาสมิดดังภาพ ส่งผลให้เซลล์ของแบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดที่มียีนแทรกไม่สามารถสร้างเอนไซม์ β-galactosidase จึงได้โคโลนีสีขาว ส่วนเซลล์ที่สร้างเอนไซม์ β-galactosidase ได้จะย่อยสารตั้งต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อได้โคโลนีสีฟ้า ถ้านักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ได้แก่ ดร.เมธาพร ดร.พราว และ ดร.วรฤทัย ทำการโคลนชิ้นส่วนของดีเอ็นเอ ได้จำนวนโคโลนี ดังตาราง (วัดการนำไปใช้เกี่ยวกับการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย)



ตารางแสดงสีและจำนวนโคโลนีจากการโคลนดีเอ็นเอ

นักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญ	จำนวนโคโลนี	
	สีขาว	สีฟ้า
ดร.เมธาพร	10	170
ดร.พราว	180	-
ดร.วรฤทัย	-	50

ภาพ พลาสมิดที่มีเครื่องหมายในการคัดเลือกและยีนรายงานผล
ที่มา: สุนัดดา โยมญาติ (2558)

หากนักเรียนต้องการ Recombinant DNA มาใช้ประโยชน์ นักเรียนจะมีวิธีการคัดเลือกโคโลนีของแบคทีเรียอย่างไร

1. เลือกโคโลนีสีขาวจาก ดร.พราว
2. เลือกสีขาวจาก ดร.เมธาพร หรือ ดร.พราว
3. เลือกโคโลนีสีฟ้าจาก ดร. วรฤทัย
4. เลือกโคโลนีสีฟ้าจาก ดร.เมธาพร หรือ ดร.วรฤทัย

6. องค์ประกอบใดที่ใช้สำหรับการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR ทั้งหมด

1. DNA template, DNA primer, DNA ligase, Nucleotides และ Mix buffer

2. DNA template, DNA vector, DNA ligase, Nucleotides และ Mix buffer

3. DNA template, DNA primer, DNA polymerase, Nucleotides และ Mix buffer

4. DNA template, DNA vector, DNA polymerase, Nucleotides และ Mix buffer

(วัดความรู้ความจำเกี่ยวกับองค์ประกอบของการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR)

7. ขั้นตอนและคำอธิบายเกี่ยวกับการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR ในข้อใด**ไม่สัมพันธ์กัน**

1. Denaturation – เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 90-95 องศาเซลเซียส

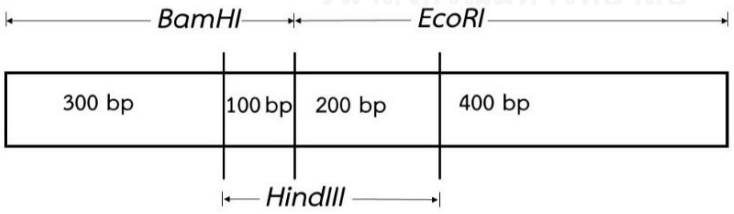
2. Primer annealing – เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ DNA สายสั้นๆ มาจับกับ DNA template

3. Denaturation – เป็นขั้นตอนที่ทำให้ DNA template แยกออกจากกันเป็น DNA สายเดี่ยว 2 สาย

4. Primer Annealing – เป็นขั้นตอนเริ่มต้นสร้าง DNA สายใหม่ที่มีทิศทางการสังเคราะห์จาก 3’→ 5’

(วัดรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนของการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR)

8. นางสาวศุภัตตานักศึกษาดีเด่นในมหาลัยที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งกำลังทำงานวิจัยศึกษาตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในหลอดทดลอง 3 หลอด แต่ละหลอดมี DNA ที่มีขนาดเท่ากัน คือ 1,000 คู่เบส (bp) และมีตำแหน่งตัดจำเพาะโดยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด ดังแสดงในภาพ



ภาพ DNA ขนาด 1,000 คู่เบส

โดยในหลอดทดลอง 3 หลอด ทำการใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะที่แตกต่างกันลงไป ดังนี้

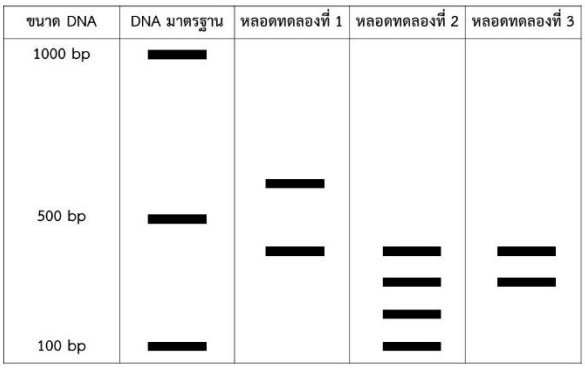
หลอดทดลองที่ 1 ใส่ *HindIII* เพียงชนิดเดียว

หลอดทดลองที่ 2 ใส่ *BamHI* เพียงชนิดเดียว

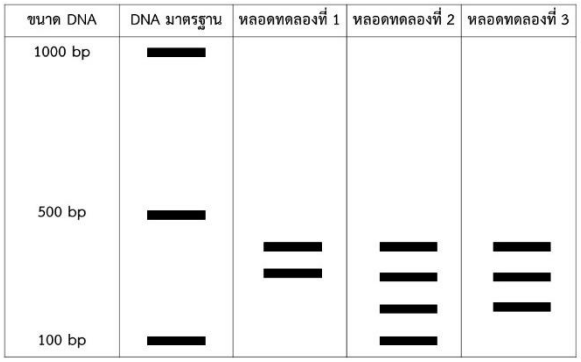
หลอดทดลองที่ 3 ใส่ *EcoRI* และ *HindIII*

ข้อใดแสดงแถบ DNA ที่ปรากฏเมื่อผ่านการแยกโดยวิธี Gel electrophoresis ในหลอดทดลองทั้ง 4 หลอด ได้ถูกต้องทั้งหมด

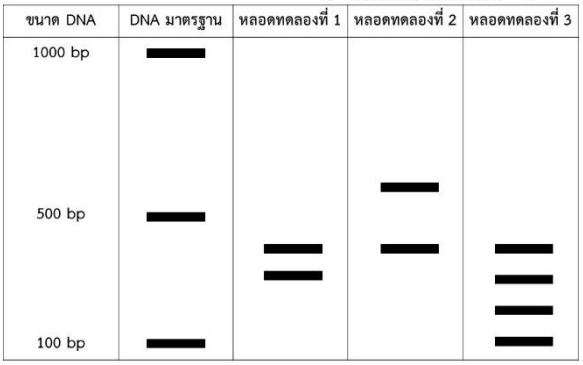
1.



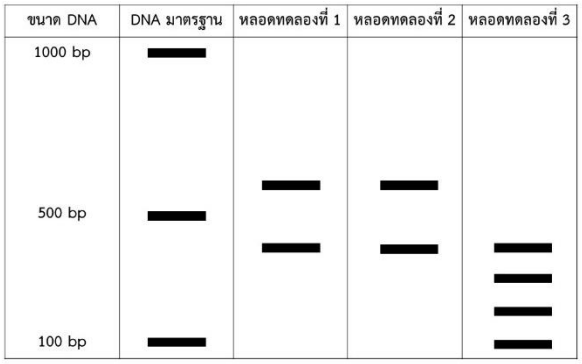
2.



3.



4.



(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : ทักษะการแปลความหมายและลงข้อสรุปเกี่ยวกับหลักการของการวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม)

9. ข้อใด**ไม่ใช่**ประโยชน์ของโครงการจีโนม (Genome project)

1. การพัฒนาการรักษาโรคทางพันธุกรรม

2. การพัฒนาการผลิตยาหรือวัคซีนชนิดใหม่

3. การพัฒนาเกี่ยวกับการคัดกรองบุตรที่มีพันธุกรรมตามที่ต้องการ

4. การพัฒนาการตรวจวินิจฉัยและการทำนายโอกาสในการเกิดโรค

(วัดความรู้ความจำเกี่ยวกับประโยชน์ของโครงการจีโนม)

10. ดร.ธีรานุช เป็นนักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับช้าง ซึ่งได้รับมอบหมายให้ทำการตรวจสอบความแตกต่าง DNA ของช้าง 2 ชนิด คือ ช้างแอฟริกัน (*Loxodonta Africana*) และช้างอินเดีย (*Elephas maximus*) นักเรียนคิดว่า ดร.ธีรานุชจะเลือกเทคนิคใดบ้างจากข้อ ก. ถึง จ.ที่จำเป็นต่อการตรวจสอบความแตกต่างของ DNA ในครั้งนี้ พร้อมทั้งเรียงลำดับขั้นตอนให้ถูกต้อง

ก. วิเคราะห์ karyotype ของช้างแต่ละเชือก

ข. ใช้ restriction enzyme ตัดตำแหน่ง DNA ที่จำเพาะ

ค. เจาะเอาเลือดของช้างตัวอย่างแต่ละเชือกมาตรวจสอบ

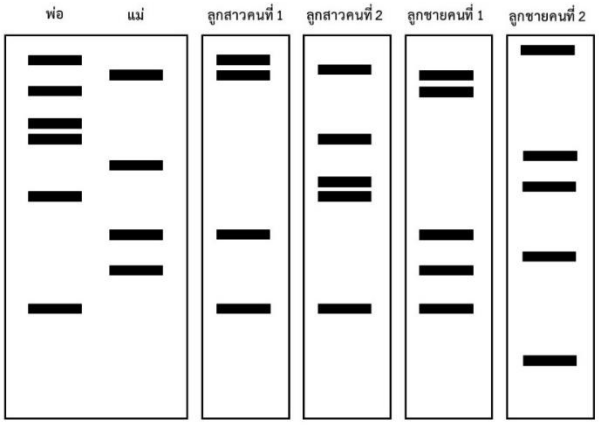
ง. ใช้ gel electrophoresis ตรวจสอบความแตกต่างของ DNA

จ. สร้าง recombinant DNA ระหว่างช้างแอฟริกันและช้างอินเดีย

1. ค. → ข. → ง.
2. ค. → จ. → ก.
3. ค. → ข. → จ. → ก.
4. ค. → จ. → ง. → ก.

(วัดการนำไปใช้เกี่ยวกับการนำความรู้ทางเทคโนโลยีทาง DNA ไปใช้)

11. จากภาพที่กำหนดให้ แสดงลายพิมพ์ดีเอ็นเอของบุคคลในครอบครัวหนึ่งที่มีลูกจำนวน 4 คน ในจำนวนนี้มีลูกสาว 2 คน และลูกชาย 2 คน นักเรียนคิดว่าลูกคนใดเป็นลูกติดพ่อและลูกคนใดเป็นลูกบุญธรรมตามลำดับ



1. ลูกสาวคนที่ 1 และลูกสาวคนที่ 2

2. ลูกสาวคนที่ 2 และลูกชายคนที่ 2

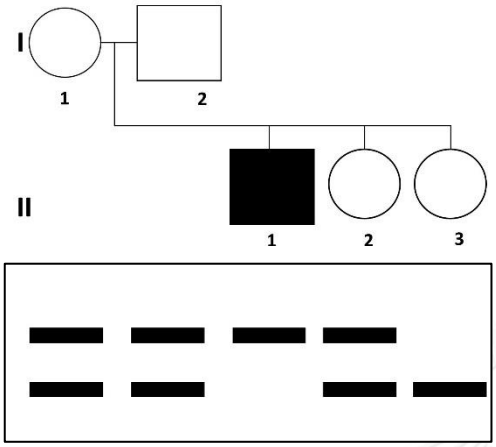
3. ลูกชายคนที่ 1 และลูกชายคนที่ 2

4. ลูกสาวคนที่ 1 และลูกชายคนที่ 2

(วัดการนำไปใช้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทาง DNA ไปใช้ประโยชน์ด้านนิติวิทยาศาสตร์)

พิจารณาภาพพันธุประวัติและลายพิมพ์ DNA ที่กำหนดให้ แล้วตอบคำถามข้อที่ 12-14

ภาพพันธุประวัติและลายพิมพ์ DNA จากครอบครัวหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนบน autosome โดยลายพิมพ์ DNA วางตรงตำแหน่งของแต่ละบุคคล



ภาพพันธุประวัติและลายพิมพ์ DNA ของครอบครัวหนึ่ง

12.ข้อใดเป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับวินิจฉัยโรคชนิดดังกล่าว

1. Gene cloning
2. Gel electrophoresis
3. Polymerase chain reaction
4. Restriction Fragment Length Polymorphism

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับการประยุกต์ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม)

13. นักเรียนคิดว่าบุคคลใดในพันธุประวัติที่เป็นพาหะของโรคชนิดนี้ และบุคคลใดมีจีโนไทป์แบบ Homozygous dominance ตามลำดับ

1. บุคคลที่ I-1 และ บุคคลที่ II-3
2. บุคคลที่ I-2 และ บุคคลที่ II-1
3. บุคคลที่ II-3 และ บุคคลที่ II-2
4. บุคคลที่ II-3 และ บุคคลที่ II-1

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : ทักษะการแปลความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุปเกี่ยวกับลายพิมพ์ DNA)

14. หากโรคทางพันธุกรรมชนิดนี้ คือ โรค SCID ซึ่งเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติทางพันธุกรรมที่ผู้ป่วยไม่สามารถสร้างภูมิคุ้มกันได้ ถ้านักเรียนเป็นคุณหมอ จะมีวิธีการรักษาโรคชนิดนี้อย่างไร

1. ถ่ายฝากยีนปกติเข้าร่างกายของบุคคลที่เป็นโรคโดยใช้ไวรัสเป็นตัวนำยีน
2. นำนิวเคลียสจากเซลล์ร่างกายของคนปกติมาใส่ในเซลล์ไข่ของบุคคลที่เป็นโรค
3. สร้างภูมิคุ้มกันทดแทนโดยการถ่ายทอดดีเอ็นเอลูกผสมเข้าไปในเซลล์เพาะเลี้ยง
4. สร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมที่มียีนปกติก่อนที่จะนำกลับไปใส่ในบุคคลที่เป็นโรค

(การนำไปใช้เกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทาง DNA ไปใช้ในด้านการแพทย์)

15. ข้อใดอธิบายเกี่ยวกับการประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอได้ถูกต้อง

ก. ในการบำบัดด้วยยีนโดยใช้ไวรัสเป็นพาหะนั้น ทำได้โดยการนำยีนของไวรัสที่เป็นอันตรายต่อคนออก แล้วใส่ยีนที่ต้องการเข้าไปแทนที่ ไวรัสสามารถแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเพื่อผลิตยีนที่ต้องการได้จำนวนมาก

ข. นักวิทยาศาสตร์ใช้พันธุวิศวกรรมผลิตโปรตีนที่ต้องการ เช่น อินซูลิน และโกรทฮอร์โมนได้โดยอาศัยแบคทีเรีย และสามารถสกัดโปรตีนเหล่านี้มาใช้

ค. ตัวอย่างของการผลิตพืชดัดแปรพันธุกรรม เช่น การตัดต่อยีนที่สังเคราะห์เอทิลีนเข้าไปในผลไม้เพื่อยืดอายุของผลผลิตทางการเกษตร

1. ก.
2. ข.
3. ก. และ ข.
4. ข. และ ค.

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับการประยุกต์เทคโนโลยทาง DNA)

16. โครงสร้างของพืชชนิดใดจัดจำแนกตามเกณฑ์ของ Analogous organ และ Homologous organ ตามลำดับ

ก. ใบกะเพราและใบโหระพา
ข. ใบกล้วยและรากกล้วยไม้ที่มีสีเขียว
ค. หัวแครอทและรากถั่วเหลือง

1. ก. และ ข.
2. ข. และ ค.
3. ข. และ ก.
4. ค. และ ข.

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์: ทักษะการจำแนกหลักฐานทางด้านกายวิภาคเปรียบเทียบ)

17. จากการศึกษาข้อมูลลำดับกรดอะมิโนชนิดหนึ่งในสิ่งมีชีวิต 4 ชนิด แสดงร้อยละความแตกต่างของกรดอะมิโนในตาราง ถ้าสิ่งมีชีวิต ก. คือ มนุษย์ ข้อใดน่าจะเป็นสิ่งมีชีวิต ข. ค. ง. ที่มีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการกับมนุษย์ได้ถูกต้อง

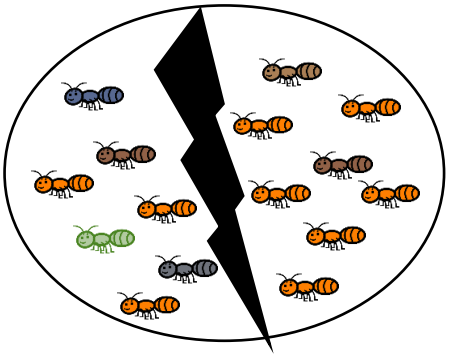
1. อุรังอุตัง ฉลาม กบ
2. จระเข้ ชะนี ปลาดุก
3. คิงคอง นกแก้ว อูฐ
4. ม้าน้ำ กอริลล่า ลิงแสม

ตารางแสดงร้อยละความแตกต่างของกรดอะมิโน

สิ่งมีชีวิต	ก.	ข.	ค.	ง.
ก.		30	8	81
ข.	30		26	44
ค.	8	26		67
ง.	81	44	67	

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์: ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูลเกี่ยวกับหลักฐานทางด้านชีวโมเลกุล)

18. จากการแยกตัวของแผ่นดิน ทำให้ประชากรมดแบ่งแยกออกจากกันเป็น 2 ส่วน คือ ประชากร ก. และประชากร ข. ถ้าสภาพแวดล้อมของประชากร ก. มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แต่สภาพแวดล้อมของประชากร ข. ไม่มีการเปลี่ยนแปลง สมมติฐานใดที่กล่าวถึงอัตราการเกิดวิวัฒนาการของประชากร ก. และ ข. ได้ถูกต้อง



ประชากร ก. **ประชากร ข.**

1. ประชากร ก. เกิดวิวัฒนาการได้ช้ากว่าประชากร ข.
2. ประชากร ก. เกิดวิวัฒนาการได้เร็วกว่าประชากร ข.
3. ประชากร ก. และ ข. มีอัตราการเกิดวิวัฒนาการคงที่
4. ประชากร ก. และ ข. ไม่มีการเกิดวิวัฒนาการในประชากร

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : การตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับแนวคิดทางวิวัฒนาการ)

19. จากทฤษฎีวิวัฒนาการโดยการคัดเลือกทางธรรมชาติของดาร์วิน นักเรียนจะอธิบายการพบอิกัวนาทะเลที่อาศัยอยู่บริเวณเกาะกาลาปากอส ซึ่งสามารถว่ายน้ำได้ดี กินสาหร่ายเป็นอาหาร และมีนิ้วยาวใช้สำหรับเกี่ยวโขดหินได้ดี ได้อย่างไร

1. อิกัวนาทะเลจากหมู่เกาะบริเวณอื่นมีการอพยพย้ายถิ่นฐานมายังหมู่เกาะกาลาปากอส
2. อิกัวนาทะเลบนหมู่เกาะกาลาปากอสวิวัฒนาการขึ้นมาจากกิ้งก่าที่อยู่บนเกาะกาลาปากอส
3. แผ่นทวีปเคลื่อนที่ทำให้อิกัวนาบกที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทวีปอเมริกาเกิดวิวัฒนาการเป็นอิกัวนาทะเล
4. อิกัวนาทะเลจากชายฝั่งทวีปอเมริกาใต้ที่มีลักษณะเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตสามารถอยู่รอดได้

(วัดการนำไปใช้เกี่ยวกับแนวคิดวิวัฒนาการของดาร์วิน)

20. ข้อใดกล่าวถึงประชากรที่อยู่ในสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กไม่ถูกต้อง

1. ค่า p และ q คงที่ในประชากรทุกรุ่น
2. ประชากรในกลุ่มนี้จะไม่เกิดวิวัฒนาการ
3. ไม่มีการเลือกคู่ผสมพันธุ์ในประชากรกลุ่มนี้
4. มีการคัดเลือกลักษณะที่เหมาะสมในกลุ่มประชากร

(ความรู้ความจำเกี่ยวกับเงื่อนไขจำกัดกฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก)

21. จากรูปแสดงความถี่ของประชากรเมื่อเวลาผ่านไปในประชากรหนึ่ง ดังนี้

ปัจจัยใดที่ส่งผลให้ความถี่แอลลีลในประชากรเป็นไปตามรูปที่กำหนดให้

ก. ประชากรมีขนาดใหญ่ ข. มีการคัดเลือกทางธรรมชาติ

ค. มีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม ง. มีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทยีนในประชากร

1. ข้อ ก. และ ง. 2. ข้อ ข. และ ค.

3. ข้อ ก. และ ค. 4. ข้อ ข. และ ง.

(ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก)

22. อัตราส่วนใดแสดงความถี่จีโนไทป์ที่เป็นไปได้ตามกฎสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

ก. AA : Aa : aa = 0.25 : 0.45 : 0.30 ข. AA : Aa : aa = 0.50 : 0.25 : 0.25

ค. AA : Aa : aa = 0.25 : 0.50 : 0.25 ง. AA : Aa : aa = 0.49 : 0.42 : 0.09

1. ข้อ ค. 2. ข้อ ก. และ ข.

3. ข้อ ค. และ ง. 4. ข้อ ข. ค. และ ง.

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : ทักษะการใช้ตัวเลขเกี่ยวกับการคำนวณสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก)

จากข้อมูลต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อที่ 23-25

จากการสำรวจประชากรดอกไม้ชนิดหนึ่งของทีมวิจัยโรงเรียนสตรีวิทยา ได้ข้อมูลความถี่ของแอลลีลควบคุมดอกสีแดง (A) และความถี่ของแอลลีลควบคุมดอกสีขาว (a) ดังตาราง

ปี พ.ศ.	ความถี่ของแอลลีลควบคุมดอกสีแดง (A)	ความถี่ของแอลลีลควบคุมดอกสีขาว (a)
2556	0.80	0.20
2557	0.70	0.30
2558	0.50	0.50
2559	0.10	0.90

23. ในปี 2559 ถ้าประชากรของดอกไม้ชนิดนี้มีจำนวน 1,000 ต้น ความถี่ของจีโนไทป์ของดอกสีแดงที่มีจีโนไทป์เป็น Heterozygous เป็นเท่าใด

1. 810 ต้น
2. 710 ต้น
3. 500 ต้น
4. 180 ต้น

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : ทักษะการใช้ตัวเลขเกี่ยวกับการคำนวณความถี่จีโนไทป์ในประชากร)

24. ในปี 2558 ความถี่จีโนไทป์ของดอกสีแดงเปลี่ยนแปลงจากปี 2557 คิดเป็นร้อยละเท่าใด

1. ร้อยละ 24
2. ร้อยละ 16
3. ร้อยละ 91
4. ร้อยละ 20

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ : ทักษะการใช้ตัวเลขเกี่ยวกับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีล)

25. ปัจจัยใดที่มีผลน้อยที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในประชากรดอกไม้ชนิดนี้

1. Gene flow
2. Genetic drift
3. Random mating
4. Natural selection

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีล)

26. ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการเกิดสปีชีส์ในสัตว์

1. สัตว์ต่างสปีชีส์ไม่สามารถมีวิวัฒนาการมาจากสัตว์สปีชีส์เดียวกันได้
2. ลักษณะต่าง ๆ ที่แยกเป็น 2 สปีชีส์ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน
3. การเปลี่ยนแปลงในสิ่งมีชีวิตเกิดตลอดเวลาจนในที่สุดเปลี่ยนไปมากจนเป็นสปีชีส์ใหม่
4. การเกิดสปีชีส์มีอัตราคงที่จึงสามารถบอกเวลาเกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำโดยใช้ biological clock

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดสปีชีส์ใหม่ (Speciation))

27. กระบวนการเกิดวิวัฒนาการในสิ่งมีชีวิตเป็นไปตามข้อใด

ก. การคัดเลือกทางธรรมชาติ (natural selection)
ข. การสืบพันธุ์ (reproduction)
ค. การสร้างสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ (formation of new species)
ง. การกลายพันธุ์ (mutations)

1. ก. → ข. → ค. → ง.
2. ข. → ค. → ง. → ก.
3. ค. → ง. → ก. → ข.
4. ง. → ก. → ข. → ค.

(วัดความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเกิดวิวัฒนาการเกี่ยวกับการเกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่)

28. สุนัขพันธุ์พุดเดิ้ล (Poodle) มีลักษณะขนและรูปร่างที่มีความคล้ายคลึงกับสุนัขพันธุ์บิชอง ฟริเซ่ (Bichon Frise) แต่มีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน เช่น สีขน นักเรียนจะมีวิธีการศึกษาอย่างไรเพื่อให้แน่ใจว่าสุนัขทั้ง 2 ชนิด เป็นสิ่งมีชีวิตในสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์กันทางด้านชีววิทยา

1. ศึกษาจากถิ่นที่อยู่อาศัยโดยธรรมชาติของสุนัขพันธุ์พุดเดิ้ลและพันธุ์บีชอง ฟริเซ่

2. ศึกษาจากการผสมพันธุ์กันตามธรรมชาติของสุนัขพันธุ์พุดเดิ้ลและพันธุ์บีชอง ฟริเซ่

3. ศึกษาจากช่วงระยะเวลาของการสืบพันธุ์ของสุนัขพันธุ์พุดเดิ้ลและพันธุ์บีชอง ฟริเซ่

4. ศึกษาโดยการนำลูกที่เกิดจากสุนัขพันธุ์พุดเดิ้ลและพันธุ์บีชอง ฟริเซ่ มาผสมพันธุ์กัน

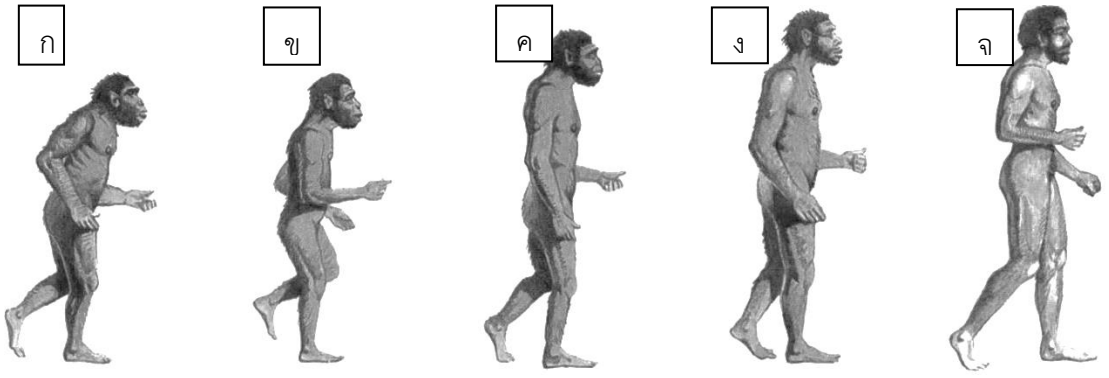
(การนำไปใช้เกี่ยวกับความหมายของสปีชีส์ทางชีววิทยา)

สุนัขพันธุ์พุดเดิ้ล

สุนัขพันธุ์บิชอง ฟริเซ่

ภาพ สุนัขพันธุ์พุดเดิ้ลและสุนัขพันธุ์บิชอง ฟริเซ่
ที่มา: "การเลี้ยงสุนัขสายพันธุ์พุดเดิ้ล Poodle toy ทอย" 2557)

29. จากรูปแสดงวิวัฒนาการของมนุษย์ ข้อใดเรียงลำดับสปีชีส์ของมนุษย์จาก ก-จ ได้ถูกต้องทั้งหมด



ภาพ วิวัฒนาการของมนุษย์
ที่มา: "วิวัฒนาการมนุษย์ Evolution" 2557)

1. *Australopithecus afarensis, Homo erectus, Homo habilis, Homo sapiens neanderthalensis, Homo sapiens sapiens*

2. *Australopithecus afarensis, Homo habilis, Homo erectus, Homo sapiens sapiens, Homo sapiens neanderthalensis*

3. *Australopithecus afarensis, Homo habilis, Homo erectus, Homo sapiens neanderthalensis, Homo sapiens sapiens*

4. *Australopithecus afarensis, Homo habilis, Homo sapiens sapiens, Homo erectus, Homo sapiens neanderthalensis*

(วัดความรู้ความจำเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์)

30. จากตารางเปรียบเทียบน้ำหนักตัวและขนาดสมองของลิงชนิดต่าง ๆ กับมนุษย์ที่สูญพันธุ์ไปแล้วกับมนุษย์ในปัจจุบัน นักเรียนคิดว่าการทดลองดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาใด

ตารางแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักตัวและขนาดสมองของลิงชนิดต่างๆ กับมนุษย์
ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2554b)

ลิงชนิดต่าง ๆ	น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)		ขนาดสมอง (cm^3)	
	เพศผู้	เพศเมีย	เพศผู้	เพศเมีย
ชะนี	5-10	5-10	100-125	100-125
อุรังอุตัง	84	38	425	370
ชิมแปนซี	40-46	30-50	400	355
กอริลลา	150+	75+	535	460
A. afrarensis	30-60	30-60	400	400
H. habilis	40-50	40-50	650-800	650-800
H. erectus	55	55	800-1,000	800-1,000
H. sapiens	65	58	1,400	1,300

1. ศึกษาว่ามนุษย์มีวิวัฒนาการมาจากลิงพวกไพรเมตหรือไม่

2. ศึกษาว่าเพศสภาพมีอิทธิพลต่อน้ำหนักตัวและขนาดของสมองของสิ่งมีชีวิตพวกไพรเมตหรือไม่

3. ศึกษาว่าสัดส่วนของขนาดสมองและน้ำหนักตัวมีผลต่อการเกิดวิวัฒนาการในสิ่งมีชีวิตพวกไพรเมตหรือไม่

4. ศึกษาว่าการเพิ่มของน้ำหนักตัวและขนาดของสมองมีส่วนเกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการด้านวัฒนธรรมหรือไม่

(วัดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์: วิธีการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการระบุขอบเขตของปัญหาที่ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

เรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **รายวิชา ชีววิทยา**

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 **ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.6**

เวลา 200 นาที **ผู้สอน นางสาวหนึ่งฤทัย เกียรติพิมล**

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว. 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ เข้าใจวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด

ว 8.1 ม.4-6/1 ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้

ว 8.1 ม.4-6/2 สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับ หรือคาดการณ์สิ่งที่จะพบหรือสร้างแบบจำลองหรือสร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อเรียนจบเรื่องนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการของปฏิกิริยา PCR ได้
2. บอกองค์ประกอบที่ใช้ในปฏิกิริยา PCR ได้
3. บอกขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR ได้
4. อธิบายและสรุปหลักการวิเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโพริซิสได้

5. อธิบายวิธีการศึกษาจีโนมโดยวิธี RFLP ได้

6. สร้างแบบจำลองที่แสดงการโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนมได้

7. เป็นผู้มีความรับผิดชอบโดยการทำกิจกรรมตามบทบาทที่ได้รับมอบหมาย

เนื้อหา/สาระการเรียนรู้

1. หลักการของปฏิกิริยาพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (Polymerase chain reaction, PCR) เป็นการโคลนยีนในหลอดทดลองโดยการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่ต้องการในหลอดทดลอง ซึ่งใช้ดีเอ็นเอแม่แบบเพียงเล็กน้อย ทำในเครื่องมือที่เรียกว่าเทอร์โมไซเคลอร์ (Thermocycler) เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว

2. ปฏิกิริยา PCR ต้องอาศัยองค์ประกอบ ดังนี้

2.1 ดีเอ็นเอแม่แบบ (DNA template) เป็นดีเอ็นเอที่ต้องการเพิ่มจำนวน

2.2 ไพร์เมอร์ (Primer) เป็นดีเอ็นเอสายเริ่มต้นขนาดสั้น

2.3 นิวคลีโอไทด์เบส 4 ชนิด คือ อะดินีน (A), ไทมีน (T), กวานีน (G) และไซโทซีน (C)

2.4 เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส (DNA polymerase)

2.5 แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$)

3. ขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR (PCR cycle) มีดังนี้

3.1 ขั้น Denaturation เป็นการแยกสาย DNA แม่แบบ โดยใช้อุณหภูมิ 94-95 °C เป็นเวลา 30-60 นาที

3.2 ขั้น Primer annealing เป็นการจับของไพร์เมอร์กับดีเอ็นเอแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยใช้อุณหภูมิ 50-65 °C เป็นเวลา 30-60 นาที

3.3 ขั้น Primer extension เป็นการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ ใช้เอนไซม์ DNA polymerase ทำหน้าที่นำเบส A, T, G, C ที่เข้าคู่กับ DNA แม่แบบ โดยใช้อุณหภูมิ 70-75 °C เป็นเวลา 30-120 นาที

4. การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ (DNA analysis) เป็นการตรวจสอบขนาดของดีเอ็นเอที่โคลนได้ด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟริซิส (Gel electrophoresis) ดีเอ็นเอที่มีขนาดแตกต่างกันจะแยกออกจากกันด้วยกระแสไฟฟ้า โดยให้ดีเอ็นเอเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเป็นแผ่นวุ้น เช่น Agarose gel และ Polyacrylamide gel หลักการวิเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยวิธี Gel electrophoresis มีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1 แยกขนาดดีเอ็นเอภายใต้สนามไฟฟ้า โดยให้ดีเอ็นเอเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง

4.2 ดีเอ็นเอที่มีประจุลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้า

4.3 ดีเอ็นเอที่มีขนาดใหญ่เคลื่อนที่ช้ากว่าดีเอ็นเอที่มีขนาดเล็ก

4.4 เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอที่ทราบขนาด (DNA marker)

4.5 ย้อมแผ่นวุ้นด้วยเอทิเดียมโบรไมด์ (Ethidium bromide)

4.6 นำไปส่องบนเครื่องกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ดีเอ็นเอจะเรืองแสงสีส้มอมชมพู

5. วิธีการศึกษาจีโนมโดยวิธีอาร์เอฟแอลพี (RFLP: Restriction fragment length polymorphism) เป็นการตรวจสอบความแตกต่างของจีโนมของแต่ละบุคคล โดยใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะมาตัดสายดีเอ็นเอตำแหน่งจำเพาะ แล้วนำชิ้นส่วนดีเอ็นเอไปแยกตามขนาดโดยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟริซิส ซึ่งมีวิธีการดังนี้

3.1 เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในบริเวณที่มีความแตกต่างกันด้วยวิธี PCR

3.2 นำผลผลิต PCR มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ

3.3 ได้รูปแบบของแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน

3.4 ความแตกต่างของรูปแบบของแถบดีเอ็นเอ เรียกว่า PCR-RFLP

กิจกรรมการเรียนรู้

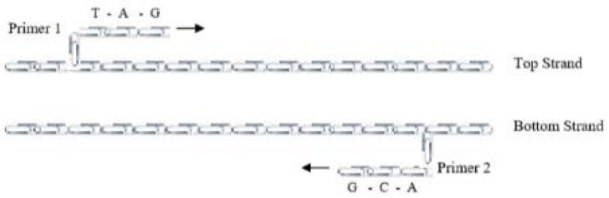
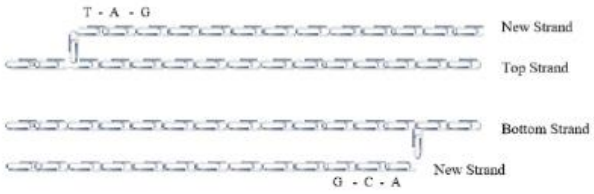
ขั้นตอน	**หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด**
การวางแผนก่อนการสอน	
1. มโนทัศน์ที่สำคัญเรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม ได้แก่ 1.1 หลักการของปฏิกิริยา PCR 1.2 องค์ประกอบที่ใช้ในปฏิกิริยา PCR 1.3 ขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR 1.4 หลักการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ 1.5 วิธีการศึกษาจีโนมโดยเทคนิค RFLP	หลักการ 1ก. ครูทำความเข้าใจตัวแทนความคิดที่สนับสนุนมโนทัศน์หลัก

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
2. ตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่ใช้เรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) ได้แก่ 2.1 ตัวแทนความคิด/แบบจำลองสำหรับการสอน ได้แก่ 1) ตัวแทนความคิด/แบบจำลองเชิงภาษา ได้แก่ การใช้การเทียบร่วม (Analogy) เปรียบเทียบลวดเสียบกระดาษสีต่างๆ กับนิวคลีโอไทด์ในปฏิกิริยา PCR และการเปรียบเทียบสีผสมอาหารกับโมเลกุลของดีเอ็นเอ 2) ตัวแทนความคิด/แบบจำลองเชิงภาพ ได้แก่ วีดิทัศน์แสดงปฏิกิริยา PCR และวีดิทัศน์แสดงการศึกษาจีโนมโดยอาศัยเทคนิคอาร์เอฟแอลพี (RFLP) 2.2 ตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่ให้นักเรียนสร้างเพื่อแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ ได้แก่ 1) ตัวแทนความคิด/แบบจำลองเชิงภาพ ได้แก่ การวาดภาพ/แผนภาพแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR การวาดภาพ/แผนภาพแสดงวิธีเจลอิเล็กโทรโฟริซิส (Gel electrophoresis) และเทคนิคอาร์เอฟแอลพี (RFLP) 2) ตัวแทนความคิด/แบบจำลองเชิงภาษา ได้แก่ การอธิบายขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR วิธีเจลอิเล็กโทรโฟริซิส (Gel electrophoresis) และเทคนิคอาร์เอฟแอลพี (RFLP) ด้วยภาษาพูดและเขียน	
ขั้นนำ (10 นาที)	
1. ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนศึกษาคดีฆาตกรรมที่เป็นข่าวดังของประเทศไทย โดยใช้สื่อวีดิทัศน์ เรื่อง ย้อนคดี นพ.วิสุทธิ์ ฆ่าภรรยา (5 นาที)	หลักการ 3ก. บริบทการรับรู้ หลักการ 3ข. การกระตุ้นความสนใจและการเป็นตัวแทน

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
2. ครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจและล้วงประสบการณ์เดิมของนักเรียน ดังนี้ (4 นาที) 2.1 จากวีดิทัศน์ที่นักเรียนได้ศึกษา นักเรียนคิดว่าตำรวจทราบได้อย่างไรว่าชิ้นเนื้อและคราบเลือดเป็นของ พญ.ผัสพร ผู้ตาย (ตรวจสอบด้วยวิธีทางนิติวิทยาศาสตร์) 2.2 นิติวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการพิสูจน์หลักฐานโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์มาตรวจสอบ ตัวอย่างของนิติวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนรู้จักมีอะไรบ้าง (การตรวจดีเอ็นเอ การตรวจลายนิ้วมือ และการตรวจหาสารเคมี เป็นต้น) 2.3 นักเรียนคิดว่าในคดีนี้ ใช้ตัวอย่างของนิติวิทยาศาสตร์ใดในการระบุตัวผู้ตาย (การตรวจดีเอ็นเอ) 2.4 หากในคดีนี้มีการอำพรางคดีอย่างแนบเนียน จนพบหยดเลือดเพียงไม่กี่หยดของผู้ตาย นักเรียนคิดว่าคดีนี้จะสามารถระบุตัวผู้ตายจากการตรวจดีเอ็นเอได้หรือไม่ อย่างไร (ขึ้นอยู่กับคำตอบของนักเรียน) 3. วันนี้เราจะมาเรียนรู้ว่า เราสามารถระบุตัวผู้ตายจากตรวจดีเอ็นเอ จากหยดเลือดปริมาณเล็กน้อยได้หรือไม่ ถ้าทำได้ เราสามารถทำได้โดยวิธีการใด หรือถ้าทำไม่ได้ จะมีวิธีการใดที่จะสามารถระบุตัวผู้ตายได้ (1 นาที)	
ขั้นสอน (180 นาที)	
กิจกรรมการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดย PCR	
1. ครูนำเข้าสู่กิจกรรมการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอ ดังนี้ 1.1 ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน ออกมารับแบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง การโคลนยีนในหลอด	หลักการ 1ข. ตัวแทนความคิดที่ต้องการสร้าง หลักการ 2ข. การลงความเห็นกลุ่มเกี่ยวกับตัวแทนความคิดที่สร้างขึ้น

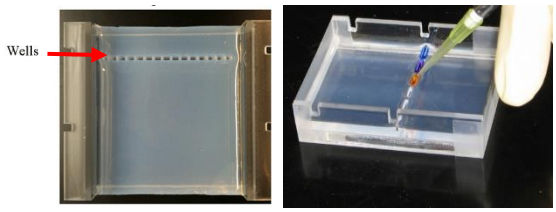
ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
ทดลองด้วยพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) และรับอุปกรณ์หน้าชั้นเรียน (2 นาที) 1.2 ครูชี้แจงวัสดุ-อุปกรณ์ที่ได้รับ และระยะเวลาในการทำกิจกรรม (3 นาที) ภาพแสดงอุปกรณ์ที่นักเรียนได้รับ 2. ให้นักเรียนเตรียมทำกิจกรรมแบบจำลองสำหรับปฏิกิริยา PCR โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ (ขั้นตอนตั้งแต่ 2.1 -2.7 รวมใช้เวลา 15 นาที) 2.1 นำลวดเสียบกระดาษสีต่าง ๆ ที่แทนนิวคลีโอไทด์อิสระตามชนิดของเบสที่เป็นองค์ประกอบชนิดต่างๆ ได้แก่ สีฟ้าแทนเบสอะดีนีน (A) สีแดงแทนเบสไทมีน (T) สีเขียวแทนเบสกวานีน (G) สีเหลืองแทนเบสไซโทซีน (C) และสีขาวแทนพันธะไฮโดรเจน 2.2 ให้นักเรียนเริ่มต้นสร้างสายดีเอ็นเอเพื่อใช้เป็นดีเอ็นเอแม่แบบ (DNA template) ที่มียีนที่ต้องการ โดยการนำลวดเสียบกระดาษสีต่าง ๆ ต่อเป็นสายยาว ดังนี้ **3’ A-G-A-T-C-G-C-A-A-A-G-C-A-T-T 5’** 2.3 ให้นักเรียนเชื่อมต่อดีเอ็นเออีกสายหนึ่งที่มีลำดับเป็นเบสคู่สม (Complementary base) กับสายดีเอ็นเอแม่แบบในข้อ 2.2 โดยใช้ลวดเสียบกระดาษสีต่าง ๆ และเชื่อมต่อดีเอ็นเอทั้งสองสายด้วยลวดเสียบกระดาษสีขาวซึ่งแทนพันธะไฮโดรเจน ดังภาพ 	หลักการ 3ก. บริบทการรับรู้ หลักการ 3ข. การกระตุ้นความสนใจและการเป็นตัวแทน หลักการ 4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิด

Chulalongkorn University

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
2.4 สร้าง primer เพื่อเป็นจุดเริ่มต้น ดังนี้ Primer 1 : **5’ T-A-G 3’** Primer 2 : **3’ G-C-A 5’** 2.5 เริ่มต้นขั้นตอนของ PCR ด้วยขั้น Denaturation ซึ่งเป็นขั้นของการแยกสายดีเอ็นเอ 2 สายออกจากกัน โดยให้นักเรียนนำลวดเสียบกระดาษสีขาวออก 2.6 ขั้น Primer annealing ให้นักเรียนนำ primer ที่สร้างไว้ในขั้นที่ 2.4 มาต่อเข้ากับดีเอ็นเอแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยใช้ลวดเสียบกระดาษสีขาว ดังภาพ  ภาพแสดงขั้น Primer annealing ของ PCR 2.7 ขั้น Primer extension ให้นักเรียนสร้างดีเอ็นเอสายใหม่เป็นสายยาว โดยใช้ primer เป็นจุดเริ่มต้น ดังภาพ  ภาพแสดงขั้น Primer extension ของ PCR 2.8 ให้นักเรียนทำซ้ำขั้นตอนเดิมคือ แยกสาย DNA แม่แบบ นำ primer เข้ามาจับ และสร้างดีเอ็นเอสายใหม่เป็นสายยาว (15 นาที)	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
2.9 เมื่อครบเวลา 15 นาที ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนับจำนวนสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ที่สร้างได้ทั้งหมด กลุ่มไหนที่สร้างได้มากที่สุดจะเป็นว่าที่ผู้ชนะในกิจกรรมนี้ 2.10 ให้นักเรียนตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรมตอนที่ 1 ดังนี้ (10 นาที) 1) ลวดเสียบกระดาษแทนสิ่งใดในปฏิกิริยา PCR (นิวคลีโอไทด์ชนิดต่างๆ และพันธะไฮโดรเจน) 2) จำนวนนิวคลีโอไทด์ที่ต่อได้จากกระบวนการ PCR ของกลุ่มนักเรียนมีจำนวนเท่าใด (11 นิวคลีโอไทด์) 3) นิวคลีโอไทด์ที่ได้จากกระบวนการ PCR มีลำดับเป็นอย่างไร .....ATCGCAAAGCA และ TAGCGTTTCGT..... 4) จากกิจกรรมข้างต้น นักเรียนคิดว่าขั้นตอนของการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่ต้องการมีกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง (3 ขั้นตอน คือ 1) แยกสาย DNA แม่แบบ 2) นำprimer เข้ามาจับ และ 3) สร้างดีเอ็นเอสายใหม่เป็นสายยาว) 2.11 ให้นักเรียนรวมกลุ่มกับเพื่อนอีก 1 กลุ่ม ช่วยกันอภิปรายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของดีเอ็นเอที่สร้างขึ้น กลุ่มไหนที่สร้างดีเอ็นเอได้จำนวนสายมากที่สุดและถูกต้องมากที่สุดจะเป็นกลุ่มผู้ชนะในกิจกรรมนี้ (10 นาที)	
*** หมายเหตุเพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลา ให้นักเรียนข้ามไปทำกิจกรรมเรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ ***	
3. ให้นักเรียนศึกษาหลักการองค์ประกอบ และขั้นตอนของ PCR จากสื่อวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase chain reaction) พร้อมทั้งตอบคำถามต่อไปนี้ (15 นาที)	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
3.1 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการ ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในหลอดทดลองเรียกว่าอะไร (ปฏิกิริยา PCR) 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการในหลอดทดลองเรียกว่าอะไร (เทอร์โมไซเคลอร์ Thermocycler) 3.3 องค์ประกอบที่ใช้สำหรับการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการมีอะไรบ้าง (ดีเอ็นเอแม่แบบ (DNA template) ไพร์เมอร์ (primer) นิวคลีโอไทด์เบส 4 ชนิด คือ อะดินีน (A), ไทมีน (T), กวานีน (G) และไซโทซีน (C) และเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส (DNA polymerase)) 3.4 ขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วยกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง และแต่ละขั้นตอนมีการทำงานอย่างไร (3 ขั้น คือ ขั้น denaturation เป็นการแยกสาย DNA แม่แบบ โดยใช้อุณหภูมิ 94-95 °C เป็นเวลา 30-60 นาที ขั้นprimer annealing เป็นการจับของไพร์เมอร์กับดีเอ็นเอแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยใช้อุณหภูมิ 50-65 °C เป็นเวลา 30-60 นาที ขั้น primer extension เป็นการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ ใช้เอนไซม์ DNA polymerase ทำหน้าที่นำเบส A, T, C, G ที่เข้าคู่กับ DNA แม่แบบ โดยใช้อุณหภูมิ 70-75 °C เป็นเวลา 30-120 นาที)	
*** สิ้นสุดการทำกิจกรรมการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอ ***	
กิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ Gel electrophoresis	
4. ครูใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การทำกิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม ดังนี้ (2 นาที) 4.1 จากกิจกรรมปฏิกิริยา PCR ที่ผ่านมา นักเรียนคิดว่าการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอจากวิธีการดังกล่าวเพียงพอหรือไม่สำหรับใช้ในการระบุตัวของบุคคล/ระบุตัว	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
ผู้ตายในตอนต้น เพราะเหตุใด (ไม่เพียงพอ เนื่องจากปฏิกิริยา PCR เป็นเพียงการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอให้มีปริมาณเพียงพอต่อการระบุตัวบุคคล ถ้าจะระบุตัวบุคคลได้ต้องมีการนำดีเอ็นเอมาวิเคราะห์ความแตกต่างก่อน) 5. นักเรียนจะได้เรียนรู้การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ จากกิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม ดังนี้ 5.1 ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมารับแบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม และรับอุปกรณ์หน้าชั้นเรียน (1 นาที) 5.2 ครูชี้แจงวัสดุ-อุปกรณ์ที่ได้รับ และระยะเวลาในการทำกิจกรรม (3 นาที) 6. ให้นักเรียนศึกษาการเคลื่อนที่ของสีผสมอาหารแต่ละชนิดบนแผ่นวุ้นที่เตรียมไว้แล้ว (ดูขั้นตอนการเตรียมแผ่นวุ้น) โดยปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้ (30 นาที) 6.1 ให้นักเรียนหยดสีผสมอาหารด้วยไมโครปิเปตลงไปในแต่ละหลุม (well) ของแผ่นวุ้น (ระวังอย่าให้สีผสมอาหารกระจายออกมานอกหลุม) ดังภาพ  ภาพแสดงการหยดสีผสมอาหารลงในวุ้น 6.2 เมื่อนักเรียนหยดสีผสมอาหารลงไปในหลุมจนครบแล้ว ให้เทสารละลายไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.2 % ลงไปในเครื่อง Gel electrophoresis เพื่อทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด

6.3 ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่อง Gel electrophoresis เข้ากับเครื่อง Power supply ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้า โดยให้ต่อขั้วสีดำเข้ากับขั้วลบของเครื่อง Power supply และต่อขั้วสีแดงเข้ากับขั้วบวกของเครื่อง Power supply โดยใช้ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่ 80 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 400 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลาประมาณ 20-30 นาที ดังภาพ

ภาพแสดงการต่อกระแสไฟฟ้า

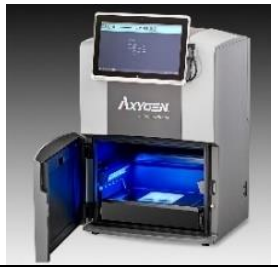
6.4 จากนั้นปล่อยให้สีผสมอาหารเคลื่อนที่ ให้นักเรียนสังเกตการเคลื่อนที่ของสีผสมอาหาร และบันทึกผลการทดลองลงในแบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม ดังตาราง

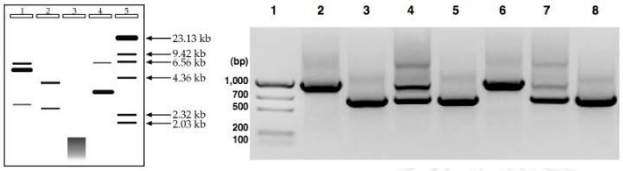
ตาราง การเคลื่อนที่ของสีผสมอาหารด้วยวิธี Gel electrophoresis

หมายเลขสีผสมอาหาร	จำนวนแถบดีเอ็นเอ	ระยะทางการเคลื่อนที่ (วัดจากด้านขั้วลบของแผ่นวุ้น cm)

6.5 ระหว่างช่วงที่รอ 20-30 นาที ให้ย้อนกลับไปทำกิจกรรมในข้อที่ 3 ศึกษาวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase chain reaction) พร้อมทั้งตอบคำถาม (15 นาที) และตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ ข้อที่ 1) และ2) (5 นาที) และเมื่อครบเวลาที่กำหนดให้บันทึกผลในตาราง และตอบคำถามข้อที่ 3) และ 4) (10 นาที) ดังนี้

1) สีผสมอาหารใช้แทนสิ่งใดในการทดลอง (ดีเอ็นเอ)

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
2) จากการทดลอง สีผสมอาหารจะเคลื่อนที่จากกระแสไฟฟ้าขั้วใดไปยังขั้วใด เพราะเหตุใด (จากขั้วลบไปยังขั้วบวก เพราะสีผสมอาหารเปรียบเสมือนดีเอ็นเอที่มีสมบัติเป็นประจุลบ) 3) จากการทดลอง สีผสมอาหารชนิดใดเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด และช้าที่สุดตามลำดับ เพราะเหตุใด (ขึ้นอยู่กับผลการทดลอง โดยสีผสมอาหารที่เคลื่อนที่ได้เร็วจะมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าสีผสมอาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้า) 4) นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้ได้ว่าอย่างไร (Gel electrophoresis เป็นการแยกชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่มีขนาดแตกต่างกันด้วยกระแสไฟฟ้าดีเอ็นเอจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นแผ่นวุ้นจากขั้วลบไปยังขั้วบวก) 7. ให้นักเรียนนำแผ่นวุ้นที่ได้จาก gel electrophoresis ไปย้อมในสีผสมอาหารสีส้ม ซึ่งจำลองเป็นเอทิเดียมโบรไมด์ (Ethidium bromide) ซึ่งจะสอดแทรกเข้าไปในเกลียวคู่ของดีเอ็นเอ และดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต โดยบอกนักเรียนว่าเอทิเดียมโบรไมด์เป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง นักเรียนจึงควรทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง (3 นาที) 8. ครูแสดงภาพเครื่องกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตในสื่อ Power point ดังภาพ จากนั้นให้นักเรียนจำลองว่านักเรียนนำแผ่นวุ้นที่ผ่านการย้อมด้วยสีเอทิเดียมโบรไมด์วางบนเครื่องกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต จะเห็นแถบดีเอ็นเอขนาดต่าง ๆ (2 นาที)  ภาพแสดงเครื่องกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
9. ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจริงนั้น จะต้องมีการหยด DNA maker ซึ่งเป็นดีเอ็นเอที่ทราบขนาดแล้ว เพื่อให้เราสามารถรู้ขนาดของดีเอ็นเอที่ต้องการศึกษา และแสดงภาพแถบของดีเอ็นเอที่ได้บนสื่อ PowerPoint เพื่อให้นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ขนาดของดีเอ็นเอ ดังภาพ (5 นาที)  ภาพแสดงขนาดของดีเอ็นเอ	
*** สิ้นสุดการทำกิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ ***	
10. ครูนำเข้าสู่การศึกษาจีโนมโดยทบทวนว่าในตอนนี้นักเรียนทราบแล้วว่า เราสามารถวิเคราะห์ดีเอ็นเอที่ต้องการได้โดยใช้วิธี Gel electrophoresis เพื่อระบุขนาดของดีเอ็นเอ และทบทวนว่าจีโนม หมายถึง ปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันจะมีขนาดจีโนมที่แตกต่างกัน แม้กระทั่งจีโนมในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันก็มีความแตกต่างกัน จากความแตกต่างของจีโนมในแต่ละบุคคลดังกล่าว จึงนำมาสู่การตรวจสอบความแตกต่างของดีเอ็นเอของแต่ละบุคคล (5 นาที) 11. ให้นักเรียนร่วมกันศึกษาการตรวจสอบความแตกต่างของดีเอ็นเอ โดยอาศัยเทคนิคอาร์เอฟแอลพี (RFLP: Restriction fragment length polymorphrism) จากสื่อวีดิทัศน์ เรื่อง RFLP (10 นาที)	

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
12. เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ และกิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ ให้นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปวิธีการต่างๆ ที่ได้เรียนไป 13. ครูแสดงภาพเกี่ยวกับหยดเลือดที่ติดบนเสื้อ จากนั้นใช้คำถาม ดังนี้ หากนักเรียนต้องการทราบว่าหยดเลือดที่พบอยู่บนเสื้อเป็นหยดเลือดของใคร นักเรียนแต่ละกลุ่มจะมีวิธีการศึกษาอย่างไรบ้าง โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผ่านแบบจำลอง/ตัวแทนความคิดเชิงภาพ และแบบจำลอง/ตัวแทนความคิดเชิงภาษา เช่น การวาดภาพ การใช้แผนภาพชนิดต่างๆ การเขียนบรรยาย ลงในกระดาษฟลิปชาร์ท (15 นาที) ภาพแสดงหยดเลือดที่ติดบนเสื้อ 14. ให้แต่ละกลุ่มออกมานำเสนอ และให้นักเรียนทั้งห้องช่วยกันประเมินถึงความถูกต้องของตัวแทนความคิด/แบบจำลองเชิงภาพ (ภาพวาด แผนภาพ) และแบบจำลองเชิงภาษา (การพูดนำเสนอ) (นำเสนอกลุ่มละ 5 นาที ประเมินกลุ่มละ 2 นาที รวมเวลาเป็น 30 นาที) 15. เมื่อทุกกลุ่มนำเสนอเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้นักเรียนทั้งห้องคัดเลือกกลุ่มที่นักเรียนคิดว่าสามารถอธิบาย สื่อสารได้ถูกต้องและชัดเจนที่สุดเป็นกลุ่มที่ชนะ (5 นาที) 16. ให้นักเรียนปรับปรุงประเด็นที่ยังบกพร่องลงในกระดาษฟลิปชาร์ท และระบุด้วยว่างานของนักเรียนมีการปรับปรุงส่วนไหนบ้าง และเพราะเหตุใดนักเรียนจึง	หลักการ 1ข. ตัวแทนความคิดที่ต้องการสร้าง หลักการ 1ค. ตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่นักเรียนสร้างและตัวแทนความคิดที่เป็นที่ยอมรับ หลักการ 2ค. รูปแบบและหน้าที่ หลักการ 2ง. ความเพียงพอของตัวแทนความคิด หลักการ 4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอน	หลักการของแนวทางการสร้างตัวแทนความคิด
ปรับปรุง (ลงในอีกด้านหนึ่งของกระดาษฟลิปชาร์ทหรือกระดาษฟลิปชาร์ทแผ่นใหม่) (10 นาที)	
ขั้นสรุป (10 นาที)	
1. ครูและนักเรียนย้อนกลับไปสรุปถึงคำถามในขั้นนำ ย้อนคดี นพ.วิสุทธิ์ ฆ่าภรรยา จากคำถาม “หากในคดีนี้มีการอำพรางคดีอย่างแนบเนียน จนพบหยดเลือดเพียงไม่กี่หยดบนเสื้อของผู้ตาย ดังรูป นักเรียนคิดว่าคดีนี้จะสามารถระบุตัวผู้ตายจากการตรวจดีเอ็นเอได้หรือไม่ อย่างไร (ได้ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการด้วยปฏิกิริยา PCR และวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากกระบวนการ Gel electrophoresis)	หลักการ 4 การประเมินผ่านตัวแทนความคิด

การวัดและการประเมิน

1. ประเมินการอธิบายหลักการ การบอกองค์ประกอบ และขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR จากแบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR)

2. ประเมินการอธิบายและสรุปหลักการวิเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโพริซิส และอธิบายวิธีการศึกษาจีโนม โดยวิธี RFLP จากแบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม

3. ประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองจากการสรุปเรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม โดยการเขียน การวาดภาพ การใช้แผนภาพ และการนำเสนอ โดยใช้เกณฑ์ในการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลอง

4. ประเมินการทำกิจกรรมตามบทบาทที่ได้รับมอบหมายจากการสังเกตพฤติกรรมในห้องเรียนมอง

5. ประเมินความรับผิดชอบในการทำกิจกรรมที่ได้รับหมายจากแบบสังเกตความรับผิดชอบ

สื่อการเรียนรู้

1. แบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง: การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์ และแบบบันทึกกิจกรรมเรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม

2. วัสดุ-อุปกรณ์ ประกอบด้วย

2.1 วัสดุ-อุปกรณ์สำหรับกิจกรรมการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ ได้แก่ ลวดเสียบกระดาษสีต่างๆ

2.2 วัสดุ-อุปกรณ์สำหรับกิจกรรมการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม ได้แก่ เครื่อง Gel electrophoresis เครื่อง Power supply ผงวุ้น สีผสมอาหาร สารละลายไบคาร์บอเนต และไมโครปิเปต

2.3 วัสดุ-อุปกรณ์สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อสรุปบทเรียน เรื่องการโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม ได้แก่ กระดาษฟลิปชาร์ท และปากกาเคมีสีต่างๆ

3. สื่อวีดิทัศน์ ประกอบด้วย

3.1 เรื่องย้อนคดี นพ.วิสุทธิ์ ฆ่าภรรยา https://www.youtube.com/watch?v=bJXNawGUG_Y

3.2 เรื่อง PCR (Polymerase Chain Reaction) https://www.youtube.com/watch?v=iQsu3Kz9NYo

3.3 เรื่อง RFLP https://www.youtube.com/watch?v=bJXNawGUG_Y

เพิ่มเติม

วิธีการเตรียมวุ้นสำหรับการวิเคราะห์ดีเอ็นเอโดยวิธีเจลอิเล็กโทรโพริซิส

1. เตรียมแท่นวางสำหรับเทวุ้น และเสียบหวีสำหรับทำเป็นหลุม (Well) ดังภาพ

2. เตรียมสารละลายไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซนต์ จากผงเบกกิ้งโซดา 2 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

3. เตรียมวุ้นความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซนต์ จากผงวุ้นที่มีขายตามท้องตลาด 1.5 กรัม ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 100 มิลลิลิตร เทใส่บีกเกอร์นำเข้าไมโครเวฟเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเทวุ้นลงในภาชนะในข้อ 1 ที่เตรียมไว้ รอจนกระทั่งวุ้นแข็งตัว จึงนำแผ่นวุ้นที่ได้ไปใช้งาน

แบบบันทึกกิจกรรม แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

เรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง : การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์

คำชี้แจง

แบบบันทึกกิจกรรมฉบับนี้ประกอบด้วย กิจกรรม 2 ตอน ให้นักเรียนทำกิจกรรม ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1. พอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) จากลวดเสียบกระดาษ

ตอนที่ 2. ศึกษาวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase Chain Reaction)

ตอนที่ 1. พอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) จากคลิปหนีบกระดาษ

วัสดุ-อุปกรณ์

1. ลวดเสียบกระดาษสีต่าง ๆ ได้แก่ สีฟ้า สีแดง สีเขียว สีเหลือง และสีขาว
2. เทปใส
3. ปากกาสีต่าง ๆ
4. แผ่นป้ายแสดงชนิดเบสและสีลวดเสียบกระดาษ

ภาพแสดงอุปกรณ์ในการทำกิจกรรม

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน และออกมารับอุปกรณ์หน้าชั้นเรียน
2. ให้นักเรียนใช้ลวดเสียบกระดาษสีต่างๆ เป็นตัวแทนของนิวคลีโอไทด์เบสชนิดต่างๆ ได้แก่
   - สีฟ้าแทนเบสอะดีนีน (A)
   - สีแดงแทนเบสไทมีน (T)
   - สีเขียวแทนเบสกวานีน (G)
   - สีเหลืองแทนเบสไซโทซีน (C)
3. ให้นักเรียนใช้ลวดเสียบกระดาษสีขาวแทนพันธะไฮโดรเจน
4. ให้นักเรียนเตรียมแบบจำลองพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน (PCR) จากลวดเสียบกระดาษ ดังนี้

4.1 ให้นักเรียนเริ่มต้นสร้างสายดีเอ็นเอแม่แบบ (template) ที่มียีนที่ต้องการ โดยการนำลวดเสียบกระดาษสีต่าง ๆ ต่อเป็นสายยาว ดังนี้ **3’ A-G-A-T-C-G-C-A-A-A-G-C-A-T-T 5’**

4.2 ให้นักเรียนเชื่อมต่อดีเอ็นเออีกสายหนึ่งโดยใช้คลิปหนีบกระดาษที่มีลำดับเบสเป็นเบสคู่สม (Complementary base) กับสายดีเอ็นเอในข้อ 4.1 และเชื่อมต่อดีเอ็นเอทั้งสองสายด้วยลวดเสียบกระดาษสีขาว (พันธะไฮโดรเจน) ดังภาพ

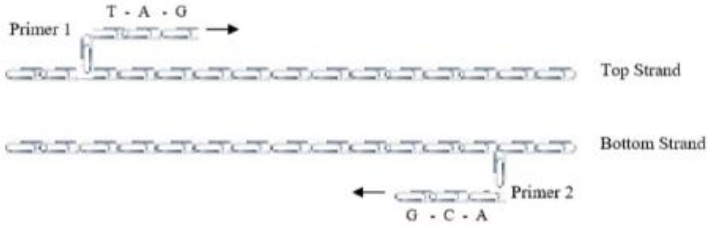
4.3 สร้าง primer เพื่อเป็นจุดเริ่มต้น ดังนี้

Primer 1 : **5’ T-A-G 3’**

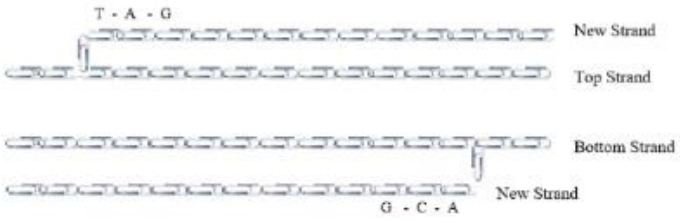
Primer 2 : **3’ G-C-A 5’**

5. ให้นักเรียนเริ่มต้นขั้นตอนของ PCR ด้วยการแยกสายดีเอ็นเอ 2 สายออกจากกัน โดยให้นักเรียนนำลวดเสียบกระดาษสีขาวออก

6. ให้นักเรียนนำ primer ที่สร้างไว้ในขั้นที่ 4.3 มาต่อเข้ากับดีเอ็นเอแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยใช้ลวดเสียบกระดาษสีขาว ดังภาพ



7. ให้นักเรียนสร้างดีเอ็นเอสายใหม่เป็นสายยาว โดยใช้ลวดเสียบกระดาษสีต่างๆ ที่แทนด้วยนิวคลีโอไทด์เบสที่มีเบสคู่สมกับดีเอ็นเอสายแม่แบบ



8. ให้นักเรียนทำซ้ำขั้นตอนเดิมคือ แยกสายดีเอ็นเอ แม่แบบ นำprimer เข้ามาจับ และสร้างดีเอ็นเอสายใหม่เป็นสายยาว โดยใช้เวลา 10 นาที

คำถามหลังจากทำกิจกรรม

1. คลิปหนีบกระดาษแทนสิ่งใดในปฏิกิริยา PCR

.....

2. จำนวนนิวคลีโอไทด์ที่ต่อได้จากกระบวนการ PCR ของกลุ่มนักเรียนมีจำนวนเท่าใด

.....

3. นิวคลีโอไทด์ที่ได้จากกระบวนการ PCR มีลำดับเป็นอย่างไร

.....

4. จากกิจกรรมข้างต้น นักเรียนคิดว่าขั้นตอนของการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่ต้องการมีกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง

.....

.....

***** เสร็จกิจกรรมในตอนที่ 1 *****

ตอนที่ 2. ศึกษาวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase Chain Reaction)

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน ร่วมกันศึกษาหลักการ องค์ประกอบ และขั้นตอนของ PCR จากสื่อวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase Chain Reaction)

2. ให้นักเรียนตอบคำถามหลังทำกิจกรรมให้ถูกต้อง

คำถามหลังจากทำกิจกรรม

1. การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการ ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในหลอดทดลองเรียกว่าอะไร

.....

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ต้องการในหลอดทดลองเรียกว่าอะไร

.....

3. องค์ประกอบที่ใช้สำหรับการเพิ่มปริมาณดีอ็นเอที่ต้องการมีอะไรบ้าง

.....

.....

4. ขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วยกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง และแต่ละขั้นตอนมีการทำงานอย่างไร

.....

.....

.....

.....

ภาพหรือแผนภาพสรุปจากสื่อวีดิทัศน์ เรื่อง PCR (Polymerase Chain Reaction)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบบันทึกกิจกรรม แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

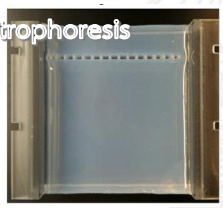
เรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม

คำชี้แจง

ให้นักเรียนทำกิจกรรม เรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ พร้อมทั้งบันทึกผลการทำกิจกรรมและตอบคำถาม

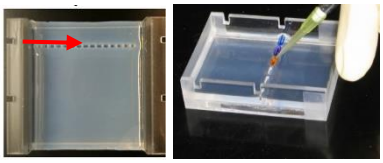
วัสดุ-อุปกรณ์

1. เครื่อง Gel electrophoresis
2. เครื่อง Power supply
3. ผงวุ้น
4. ไมโครปิเปต
5. เบกกิ้งโซดา
6. สีผสมอาหาร



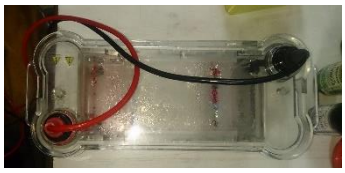
ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนหยดสีผสมอาหารจำนวน 3 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตลงไปในแต่ละหลุม (well) ของแผ่นวุ้น (ระวังอย่าให้สีผสมอาหารกระจายออกมานอกหลุม) ดังภาพ



2. เมื่อนักเรียนหยดสีผสมอาหารลงไปในหลุมจนครบแล้ว ให้ต่อนักเรียนเทสารละลายไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.2 % จากการเตรียมเบกกิ้งโซดา 2 กรัม และนำกลั่น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในเครื่อง Gel electrophoresis เพื่อทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

3. ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่อง Gel electrophoresis เข้ากับเครื่อง Power supply ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้า โดยให้ต่อขั้วสีดำเข้ากับขั้วลบของเครื่อง Power supply และต่อขั้วสีแดงเข้ากับขั้วบวกของเครื่อง Power supply โดยใช้ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่ 80 โวลต์กระแสไฟฟ้า 400 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลาประมาณ 20 นาที ดังภาพ



4. ให้นักเรียนสังเกตการเคลื่อนที่ของสีผสมอาหาร บันทึกผลการทดลองลงในแบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม

5. ให้นักเรียนนำแผ่นวุ้นที่ได้จาก gel electrophoresis ไปย้อมในสีผสมอาหารสีส้ม ซึ่งจำลองเป็นเอทิเดียมโบรไมด์ (ethidium bromide) ซึ่งจะสอดแทรกเข้าไปในเกลียวคู่ของดีเอ็นเอ และดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต และตอบคำถามหลังทำกิจกรรม

ผลการทำกิจกรรม

ตารางบันทึกผล ระยะทางการเคลื่อนที่ของสีผสมอาหารด้วยวิธี gel electrophoresis

หมายเลขสีผสมอาหาร	จำนวนแถบที่สังเกตได้	ระยะทางการเคลื่อนที่ (วัดจากด้านขั้วลบของแผ่นวุ้น cm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

คำถามหลังทำกิจกรรม

1) สีผสมอาหารใช้แทนสิ่งใดในการทดลอง

.....

2) จากการทดลอง นักเรียนสังเกตได้ว่าสีผสมอาหารจะเคลื่อนที่จากกระแสไฟฟ้าขั้วใดไปยังขั้วใด เพราะเหตุใด

.....

.....

3) จากการทดลอง สีผสมอาหารชนิดใดเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด และช้าที่สุดตามลำดับ เพราะเหตุใด

.....

.....

4) นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้ได้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. คุณภาพของแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง
2. คุณภาพของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. คุณภาพของแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ และได้ผลการตรวจสอบ ดังนี้

1.1 ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) พิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างรายการประเมินและเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงผลการตรวจสอบในตารางที่ 20

1.2 ตรวจสอบค่าความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Interrater reliability) จากการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินจำนวน 3 ท่าน แสดงผลการตรวจสอบ ดังนี้

ค่าความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Interrater reliability)
ของแบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลอง เรื่อง การประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index) เป็นค่าดัชนีบ่งชี้ถึงระดับความสอดคล้องกันของคะแนนที่ได้จากผู้ประเมิน 2 คน หรือมากกว่า โดยดัชนีจะมีค่า 0-1 เมื่อค่าดัชนีเข้าใกล้ 1 แสดงว่าผู้ประเมินสามารถให้คะแนนได้อย่างสอดคล้องกันสูงมาก แต่หากค่าดัชนีเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสอดคล้องกันไม่มากนัก (สุรชัย มีชาญ, 2547) ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

กรณีที่มีพฤติกรรมบ่งชี้หลายตัว นักเรียนหลายคน และมีผู้ประเมินหลายคน

$$RAI = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\left|R_{mnk} - \bar{R}_{nk}\right|}{KN(M-1)(I-1)}$$

เมื่อ RAI แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน

R_{mnk} แทน คะแนนที่ได้จากผู้ประเมินคนที่ m ของนักเรียนคนที่ n ในพฤติกรรมที่ k (m = 1, 2, 3,..., M ; n = 1, 2, 3,..., N ; k = 1, 2, 3,..., K)

R_{nk} แทน คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนคนที่ n ในพฤติกรรมที่ k ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{R}_{nk} = \frac{\sum_{m=1}^{M} R_{mnk}}{M}$$

K แทน จำนวนของพฤติกรรมบ่งชี้ทั้งหมด

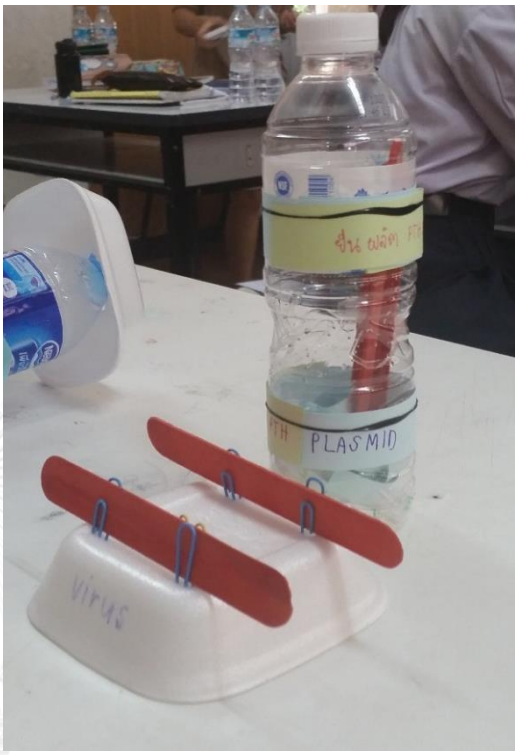
N แทน จำนวนของนักเรียนทั้งหมด

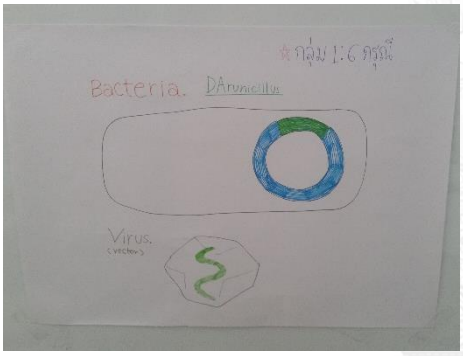
I แทน คะแนนทั้งหมดที่เป็นไปได้ (ตามเกณฑ์การให้คะแนน)

M แทน จำนวนผู้ประเมิน

ตัวอย่างภาพแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองและผลงานของนักเรียน

นักเรียนกลุ่มที่ 1



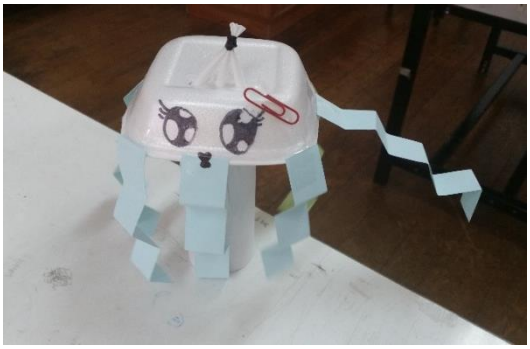


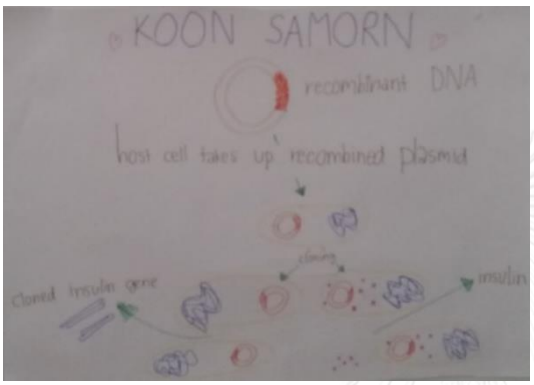
คำอธิบาย

นักเรียนนำเสนอการประยุกต์เทคโนโลยีในด้านการแพทย์เกี่ยวกับการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรทางพันธุกรรมในด้านการแพทย์เกี่ยวกับการทำยีนบำบัดเพื่อไปแก้ไขความผิดปกติที่ต่อมพาราไทรอยด์ โดยทำการตัดต่อพันธุกรรมของแบคทีเรียชนิดหนึ่ง จากนั้นนำ Recombination DNA หรือดีเอ็นเอลูกผสมที่ได้จากการตัดต่อแล้วมารวมกับไวรัสเพื่อเป็นตัวพา (vector) ในการนำยีนที่ต้องการเข้าสู่ร่างกายมนุษย์อีกทีหนึ่ง ในไวรัสที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาหะจะมีการนำยีนที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ออกไปแล้ว

แบบจำลองที่นักเรียนเลือกใช้เพื่อประกอบการอธิบาย ได้แก่ 1) แบบจำลองเชิงภาพในการวาดภาพแสดงแบคทีเรียและไวรัสที่นักเรียนใช้ 2) แบบจำลองเชิงภาษาผ่านการพูดนำเสนอหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและการอธิบายประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมดังกล่าว และ 3) แบบจำลองเชิงรูปธรรมในการประดิษฐ์สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเพื่อจำลองแบคทีเรียและไวรัสที่นักเรียนนำมาใช้เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

นักเรียนกลุ่มที่ 2





คำอธิบาย

นักเรียนนำเสนอการประยุกต์เทคโนโลยีในด้านเภสัชกรรมเกี่ยวกับการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรทางพันธุกรรมในการผลิตวัคซีน โดยนักเรียนตั้งชื่อสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมชนิดนี้ว่า “แมงกะพรุนคุณสมร” เพื่อผลิตวัคซีนป้องกันโรคแพ้แดด โดยทำการสกัดดีเอ็นเอ/โปรตีนของบุคคลที่แพ้แดด จากนั้นจึงนำไปตัดต่อร่วมกับดีเอ็นเอของแมงกะพรุนและนำไปเพิ่มจำนวนในพลาสมิดของแบคทีเรีย แล้วจึงทำการฉีดเข้าไปในแมงกะพรุน ทำให้แมงกะพรุนเกิดการสร้างสารที่แพ้แดดออกมาหรือวัคซีน ทำให้แมงกะพรุนคุณสมรสามารถสร้างวัคซีนได้

แบบจำลองที่นักเรียนเลือกใช้เพื่อประกอบการอธิบาย ได้แก่ 1) แบบจำลองเชิงภาพในการวาดภาพแสดงขั้นตอนของการตัดต่อพันธุกรรมผ่านการใช้พลาสมิดและแบคทีเรีย 2) แบบจำลองเชิงภาษาผ่านการพูดนำเสนอหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและการอธิบายประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมดังกล่าว และ 3) แบบจำลองเชิงรูปธรรมในการประดิษฐ์สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเพื่อจำลองลักษณะภายนอกของแมงกะพรุนที่ผ่านการดัดแปรพันธุกรรมในการสร้างวัคซีนโรคแพ้แดด

นักเรียนกลุ่มที่ 3

คำอธิบาย

นักเรียนนำเสนอการประยุกต์เทคโนโลยีทางด้านการเกษตรเกี่ยวกับการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรทางพันธุกรรมในการผลิตพืชดัดแปรพันธุกรรม (GMOs) โดยนักเรียนตั้งชื่อสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมชนิดนี้ว่า “แครอท” โดยทำการตัดต่อยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย เพื่อเปลี่ยนแปลงแครอทให้มีสีม่วงที่มีขนาดเหมาะสมสามารถรับประทานได้ทันทีจากการดึงจุกตรงกลางทำให้แครอทเป็นชิ้นเล็กๆ บริเวณด้านบนของแครอทจะมีการดัดแปรพันธุกรรมโดยการตัดต่อเข้ากับพืชชนิดอื่น เช่น ผักชี และดอกอัญชัญเพื่อให้พืชชนิดนี้มีคุณค่าทางอาหารมากขึ้น

แบบจำลองที่นักเรียนเลือกใช้เพื่อประกอบการอธิบาย ได้แก่ 1) แบบจำลองเชิงภาพในการวาดภาพแสดงลักษณะภายนอกของแครอทที่ได้จากการดัดแปรพันธุกรรม และ 2) แบบจำลองเชิงภาษาผ่านการพูดนำเสนอประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

ข้อมูลการให้คะแนนจากการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองและผลงานของนักเรียน

นักเรียนกลุ่มที่ 1

องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัย	ผู้ทรงคุณวุฒิ	ผู้ช่วยวิจัย
1. การสร้างแบบจำลอง	4	4	4
2. การนำแบบจำลองไปใช้	4	3	4
3. การประเมินแบบจำลอง	2	2	2
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	1	1	1

นักเรียนกลุ่มที่ 2

องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัย	ผู้ทรงคุณวุฒิ	ผู้ช่วยวิจัย
1. การสร้างแบบจำลอง	4	3	3
2. การนำแบบจำลองไปใช้	3	2	3
3. การประเมินแบบจำลอง	2	2	2
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	1	1	1

นักเรียนกลุ่มที่ 3

องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัย	ผู้ทรงคุณวุฒิ	ผู้ช่วยวิจัย
1. การสร้างแบบจำลอง	4	3	3
2. การนำแบบจำลองไปใช้	3	2	2
3. การประเมินแบบจำลอง	2	1	2
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	1	1	1

จากคะแนนที่ได้นำมาหาค่าคะแนนโดยรวมจากนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม ผู้ประเมินทั้ง 3 คน และจากองค์ประกอบทั้ง 4 องค์ประกอบ ดังนี้

ที่	คะแนนที่ได้จากผู้วิจัย				คะแนนที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิ				คะแนนที่ได้จากผู้ช่วยวิจัย			
	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4
1	4	4	2	1	4	3	2	1	4	4	2	1
2	4	3	2	1	3	2	2	1	3	3	2	1
3	4	3	2	1	3	2	1	1	3	2	2	1

หมายเหตุ พฤ หมายถึง พฤติกรรมหรือองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

คำนวณหาค่าเฉลี่ยของนักเรียนคนที่ n ในพฤติกรรมที่ k ($\bar{R}_{nk}$) ได้ดังนี้

กลุ่มที่	$\bar{R}_{nk}$			
	พฤติกรรมที่ 1	พฤติกรรมที่ 2	พฤติกรรมที่ 3	พฤติกรรมที่ 4
1	4	3.67	2	1
2	3.33	2.67	2	1
3	3.33	2.33	1.67	1

K / n	$\lvert R_1nk - \bar{R}_{nk}\rvert$				$\lvert R_2nk - \bar{R}_{nk}\rvert$				$\lvert R_3nk - \bar{R}_{nk}\rvert$			
	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4	พฤ1	พฤ2	พฤ3	พฤ4
1	0	0.33	0	0	4	3	2	1	4	4	2	1
2	0.67	0.33	0	0	3	2	2	1	3	3	2	1
3	0.67	0.67	0.33	0	3	2	1	1	3	2	2	1

หมายเหตุ พฤ หมายถึง พฤติกรรมหรือองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลอง

จากนั้นแทนค่าลงในสูตรดังนี้

$$RAI = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\left|R_{mnk} - \bar{R}_{nk}\right|}{KN(M-1)(I-1)}$$

เมื่อ K = 4 พฤติกรรม

N = 3 กลุ่ม

I = 4 คะแนน

M = 3 คน

และ $\sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\left|R_{mnk} - \bar{R}_{nk}\right| = 7.65$

จะได้ค่า RAI = 1- (7.65/(4)(3)(3-1)(4-1))

= 1- (7.65/72)

= 0.89

ดังนั้น ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินมีค่า 0.89 แบบประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองมีความเหมาะสมในการใช้ประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองได้

ตารางที่ 20 ค่าความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างรายการประเมินและเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
1. การสร้างแบบจำลอง	● นักเรียนสร้างแบบจำลองที่แสดงการเป็นตัวแทนปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม โดยแสดงทุกองค์ประกอบของปรากฏการณ์ ● นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองได้ถูกต้องทั้งหมด	● นักเรียนสร้างแบบจำลองแสดงการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ได้อย่างครอบคลุม ● นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง	● นักเรียนสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ โดยแสดงองค์ประกอบส่วนใหญ่ของปรากฏการณ์ แต่ไม่ครอบคลุมทุกองค์ประกอบเพียง ● นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองได้ถูกต้องเพียงบางส่วน	● นักเรียนสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของปรากฏในระดับเบื้องต้น องค์ประกอบที่ใช้แทนปรากฏการณ์ส่วนใหญ่ขาดหายไป ● นักเรียนสร้างแบบจำลองและองค์ประกอบของแบบจำลองไม่ถูกต้องเลย หรือไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้
ค่า IOC	0.67	0.67	0.67	0.67
คำแนะนำ	ตัดคำว่า “แสดงองค์ประกอบของปรากฏการณ์” โดยการประเมินแต่ละครั้งต้องระบุองค์ประกอบ เพราะนักเรียนระดับชั้นที่แตกต่างกัน ปริมาณเนื้อหาที่เรียนไม่เท่ากัน องค์ประกอบจึงไม่เหมือนกัน			ตัดคำว่า “เลย” ออก

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
2. การใช้แบบจำลอง	● นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม ● นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ได้ถูกต้อง	● นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม ● นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ได้ถูกต้องแต่ไม่ชัดเจน	● นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม ● นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ไม่ได้ถูกต้อง	● นักเรียนเลือกใช้ประเภทของแบบจำลองไม่เหมาะสม ● นักเรียนใช้แบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือปรากฏการณ์ใหม่ไม่ถูกต้อง
ค่า IOC	0.67	0.67	0.67	0.67
คำแนะนำ	เปลี่ยนคำว่า “เหมาะสม” เป็นนักเรียนเลือกใช้แบบจำลองได้ตรงตามแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์	ปรับในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากคำว่าเหมาะสมของบุคคลหนึ่ง อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับบุคคลอื่น	ปรับในลักษณะเดียวกัน	ตัดคำว่า “เลย” ออก

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
3. การประเมินแบบจำลอง	● นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อกำจัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้อย่างครบถ้วน ● นักเรียนสามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่าและดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	● นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อกำจัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้อย่างครบถ้วน ● นักเรียนสามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	● นักเรียนสามารถเปรียบเทียบแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้ แต่ไม่ระบุข้อดี และข้อจำกัดของแบบจำลอง ● นักเรียนไม่สามารถตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า	● นักเรียนไม่สามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นกับแบบจำลองที่ครูหรือเพื่อนนำเสนอได้อย่างครบถ้วน ● นักเรียนไม่สามารถตัดสินได้ว่า แบบจำลองใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า
ค่า IOC	1	0.67	1	1
คำแนะนำ		ปรับการเขียนและการใช้ภาษาเนื่องจากคล้ายระดับดีมาก		

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	● นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้อง และแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เพิ่มขึ้นได้ทั้งหมด	● นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้อง และแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เพิ่มขึ้นได้เพียงบางส่วน	● นักเรียนมีการปรับปรุงแบบจำลอง แต่ไม่พิจารณาถึงความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์	● นักเรียนไม่มีการปรับปรุงแบบจำลอง
ค่า IOC	0.67	0.67	1	1
คำแนะนำ	ปรับการเขียน จะรู้ได้อย่างไรว่านักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เพิ่มขึ้น			

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับลักษณะการเขียนและการใช้ภาษาในแบบประเมิน

2. ไม่ควรกำหนดหรือจำกัดความคิดของนักเรียนในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนำมาใช้เป็นตัวแทน เพื่อช่วยในการอธิบายแบบจำลองที่แตกต่างอาจมีความเหมาะสมและอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีกว่า

2. คุณภาพของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา

แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ และได้ผลการตรวจสอบ ดังนี้

1.1 ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) พิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ที่ต้องการวัด ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้และข้อคำถามในแบบสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ชีววิทยา แสดงผลการตรวจสอบในตารางที่ 21

1.2 ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบรายข้อ (Item analysis) พิจารณาจากการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) แสดงผลการตรวจสอบในตารางที่ 22

ตารางที่ 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ที่ต้องการวัด ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้และข้อคำถามในแบบสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ชีววิทยา

วัตถุประสงค์	พฤติกรรม	ข้อที่	IOC	ความหมาย	ข้อเสนอแนะ
1. ความหมายและหลักการของพันธุวิศวกรรม	ความรู้ความจำ	1	1	วัดได้สอดคล้อง	
2. ความหมายของดีเอ็นเอลูกผสม (recombinant DNA)	ความเข้าใจ	2	1	วัดได้สอดคล้อง	
3. หลักการตัดและต่อดีเอ็นเอลูกผสม (recombinant DNA)	ความเข้าใจ	3	1	วัดได้สอดคล้อง	
	ความรู้ความจำ	4	1	วัดได้สอดคล้อง	
4. หลักการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย	การนำไปใช้	5	1	วัดได้สอดคล้อง	แก้ไขโจทย์ว่า ...ได้รับพลาสมิดที่มียีนแทรกไม่สามารถ...
5. องค์ประกอบของการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR	ความรู้ความจำ	6	1	วัดได้สอดคล้อง	
6. ขั้นตอนของการโคลนยีนในหลอดทดลองด้วยเทคนิค PCR	ความเข้าใจ	7	1	วัดได้สอดคล้อง	
7. หลักการของการวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	8	0.67	วัดได้สอดคล้อง	

วัตถุประสงค์	พฤติกรรม	ข้อที่	IOC	ความหมาย	ข้อเสนอแนะ
8. ตัวอย่างประโยชน์ของโครงการจีโนม	ความรู้ความจำ	9	1	วัดได้สอดคล้อง	
9. ตัวอย่างของการประยุกต์เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	การนำไปใช้	10	1	วัดได้สอดคล้อง	
	การนำไปใช้	11	1	วัดได้สอดคล้อง	แก้ไขโจทย์.....ลูกสาว 2 คน และลูกชาย 2 คน
	ความเข้าใจ	12	0	วัดได้ไม่สอดคล้อง	คำถามและคำตอบไม่ค่อยชัดเจน ปรับแก้โจทย์ ..... เทคโนโลยีชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับ..... ปรับแก้ตัวเลือก
	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	13	1	วัดได้สอดคล้อง	
	การนำไปใช้	14	0.67	วัดได้สอดคล้อง	คำถามถามถึงการรักษาบุคคลที่ II-1 แต่ตัวเลือกมีพูดถึง II-2 มากเกินไป
	ความเข้าใจ	15	1	วัดได้สอดคล้อง	
10. ความหมายของหลักฐานทางด้านกายวิภาคเปรียบเทียบ	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	16	1	วัดได้สอดคล้อง	
11. หลักการของหลักฐานทางด้านชีวโมเลกุล	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	17	0.67	วัดได้สอดคล้อง	
12. หลักการของทฤษฎีการคัดเลือกทางธรรมชาติ (แนวคิดทางวิวัฒนาการของดาร์วิน)	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	18	0.67	วัดได้สอดคล้อง	
	การนำไปใช้	19	0.67	วัดได้สอดคล้อง	
13.ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก	ความรู้ความจำ	20	1	วัดได้สอดคล้อง	
	ความเข้าใจ	21	1	วัดได้สอดคล้อง	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัตถุประสงค์	พฤติกรรม	ข้อที่	IOC	ความหมาย	ข้อเสนอแนะ
14. การประยุกต์สมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	22	1	วัดได้สอดคล้อง	
	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	23	1	วัดได้สอดคล้อง	
	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	24	1	วัดได้สอดคล้อง	
15. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความถี่	ความเข้าใจ	25	1	วัดได้สอดคล้อง	
16. หลักการของการเกิดสปีชีส์ใหม่ (Speciation)	ความเข้าใจ	26	1	วัดได้สอดคล้อง	
17. ขั้นตอนของการเกิดสปีชีส์ใหม่	ความเข้าใจ	27	1	วัดได้สอดคล้อง	
18. ความหมายของสปีชีส์ทางชีววิทยา	การนำไปใช้	28	1	วัดได้สอดคล้อง	
19. ลำดับสายวิวัฒนาการในมนุษย์	ความรู้ความจำ	29	1	วัดได้สอดคล้อง	
20. ปัจจัยที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการในมนุษย์	กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	30	1	วัดได้สอดคล้อง	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 22 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาเรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

ข้อที่	ค่าความยาก (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)	ความหมาย
1	0.70	0.35	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีพอสมควร
2	0.80	0.30	ง่ายมาก จำแนกได้ดีพอสมควร
3	0.77	0.45	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีมาก
4	0.42	0.35	ปานกลาง จำแนกได้ดีพอสมควร
5	0.53	0.55	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
6	0.73	0.55	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีมาก
7	0.80	0.30	ง่ายมาก จำแนกได้ดีพอสมควร
8	0.45	0.20	ปานกลาง จำแนกได้พอใช้ได้
9	0.55	0.40	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
10	0.32	0.25	ค่อนข้างยาก จำแนกได้พอใช้ได้
11	0.80	0.30	ง่ายมาก จำแนกได้ดีพอสมควร
12	0.50	0.30	ปานกลาง จำแนกได้ดีพอสมควร
13	0.43	0.45	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
14	0.62	0.35	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีพอสมควร
15	0.35	0.30	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดีพอสมควร
16	0.45	0.35	ปานกลาง จำแนกได้ดีพอสมควร
17	0.78	0.45	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีมาก
18	0.55	0.40	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
19	0.48	0.25	ปานกลาง จำแนกได้พอใช้ได้
20	0.72	0.45	ค่อนข้างง่ายจำแนกได้ดีมาก
21	0.67	0.65	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีมาก
22	0.48	0.35	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
23	0.80	0.20	ง่ายมาก จำแนกได้พอใช้ได้
24	0.30	0.40	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดีมาก
25	0.32	0.25	ค่อนข้างยาก จำแนกได้พอใช้ได้
26	0.80	0.30	ง่ายมาก จำแนกได้ดีพอสมควร
27	0.25	0.30	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดีพอสมควร

ข้อที่	ค่าความยาก (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)	ความหมาย
28	0.48	0.45	ปานกลาง จำแนกได้ดีมาก
29	0.68	0.65	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดีมาก
30	0.80	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดีมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

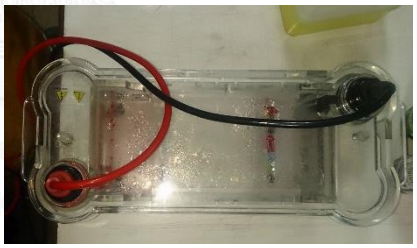
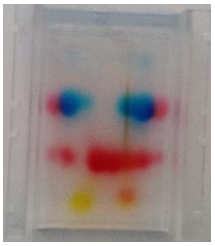
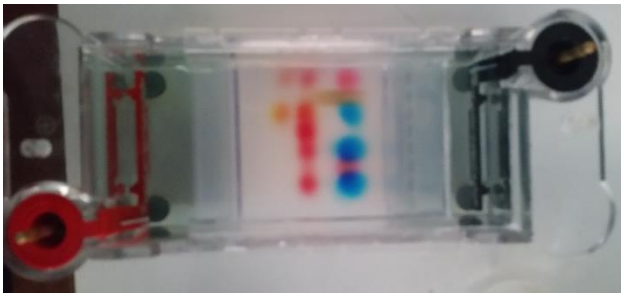
ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการสร้างตัวแทนความคิด

เรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม

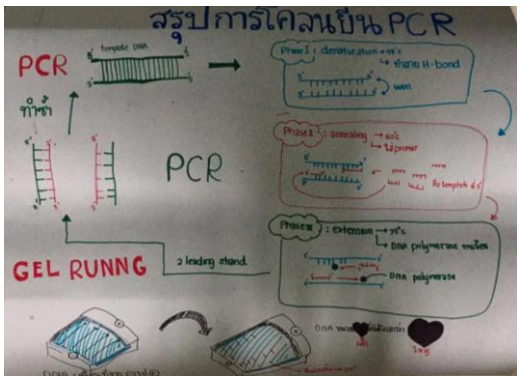
กิจกรรม การโคลนยีนในหลอดทดลอง : การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์

นักเรียนทำกิจกรรม เรื่อง การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์
เพื่อสำรวจและระบุปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์จากลวดเสียบกระดาษ

กิจกรรม การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม

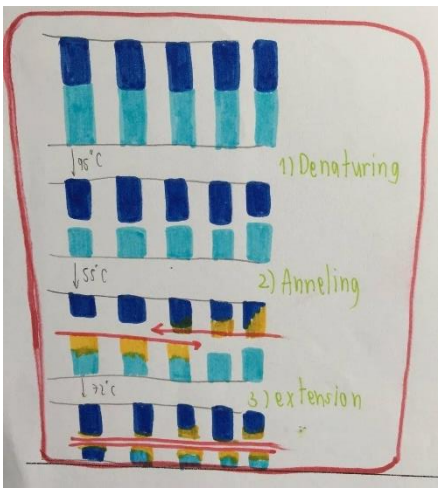




นักเรียนทำกิจกรรม เรื่อง การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยพีซีอาร์
เพื่อสำรวจและระบุปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ โดยใช้สีผสมอาหารแทนดีเอ็นเอ



นักเรียนสร้างตัวแทนความคิด/แบบจำลอง โดยการสรุปความรู้เรื่อง การโคลนยีนในหลอดทดลอง การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ และการศึกษาจีโนม ลงในกระดาษฟลิปชาร์ต

นักเรียนร่วมกันอภิปรายและประเมินตัวแทนความคิด/แบบจำลองที่แต่ละกลุ่มสร้างขึ้น นำไปสู่แบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับหรือแบบจำลองที่เป็นมติของห้องเรียน



นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองเพื่อแสดงความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้นหรือเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ได้ดีขึ้น และตัวอย่างส่วนของแบบจำลองที่นักเรียนปรับปรุง

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลเพิ่มเติมของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลเพิ่มเติมของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายจากการปฏิบัติการสอนในภาคเรียนที่ 1-2 ปีการศึกษา 2558

1. ข้อมูลจากการสังเกต

สำหรับข้อมูลจากการสังเกต เริ่มจากการทำความรู้จักนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยการสอบถามชื่อและเลขที่ของนักเรียน สอบถามลักษณะกิจกรรมที่นักเรียนอยากให้จัดขึ้นในระหว่างการเรียนรู้ สอบถามและพูดคุยกับคุณครูประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์สอนนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย และเก็บข้อมูลเบื้องต้นที่น่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการเรียนการสอน ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยข้อมูลและพฤติกรรมบางส่วนที่เก็บรวบรวมได้จากการปฏิบัติการสอนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.6 มีดังนี้

1) นักเรียนมีความประพฤติที่เรียบร้อย เอาใจต่อการเรียนการสอน มีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมาย ส่งงานสม่ำเสมอและตรงเวลา

2) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาชีววิทยา จากระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 อยู่ในระดับที่ดี และดีมาก และมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี เมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามแนวทางการประเมินผลของสำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

3) นักเรียนมีความกระตือรือร้น เมื่อเรียนเนื้อหาผ่านการทำกิจกรรมและการทำปฏิบัติการทดลอง และให้ความสนใจเป็นพิเศษกับบทเรียนที่มีการใช้สื่อวีดิทัศน์ประกอบการสอน (ข้อมูลจากการสังเกต)

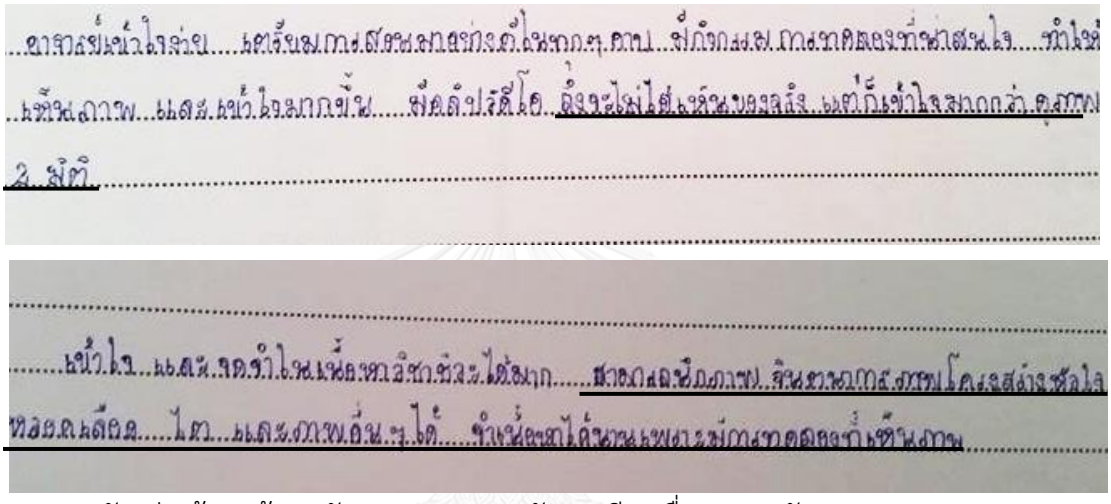
พฤติกรรมของนักเรียนในคาบที่มีการเรียนเรียนรู้ผ่านกิจกรรม

2. ข้อมูลจากผู้เรียน

สำหรับในส่วนของผู้เรียน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบฝึกหัด แบบบันทึกกิจกรรม การทดสอบย่อย แบบทดสอบกลางภาคเรียนและปลายภาคเรียน แบบบันทึกหลังการเรียนรู้ (learning log) และแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับวิชาชีววิทยา ซึ่งได้ข้อมูล ดังนี้

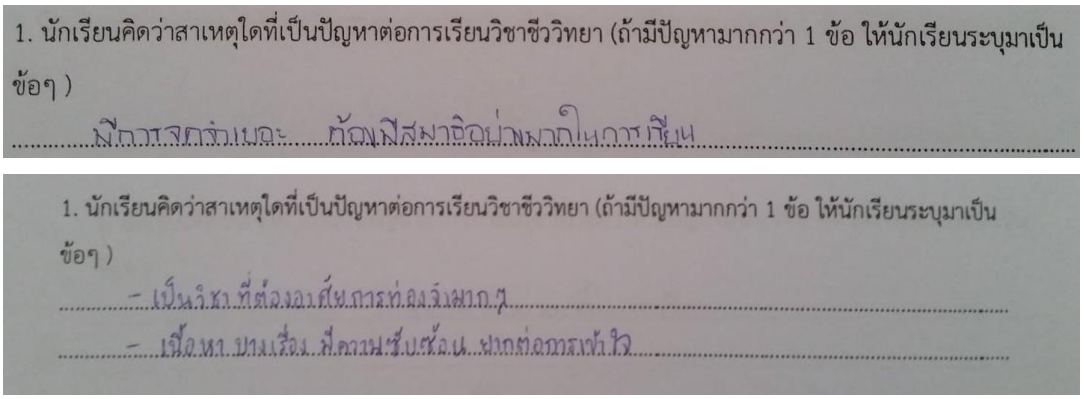
1) นักเรียนทุกคนสามารถทำแบบฝึกหัดและแบบบันทึกกิจกรรมได้ถูกต้องเกินร้อยละ 70 ของข้อคำถามทั้งหมด ในกิจกรรมเรื่องการทดลองผ่าตัดปอดหมู แบบจำลองการทำงานของปอดและกะบังลม การรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย และแบบจำลองระบบหมุนเวียนเลือดของสัตว์

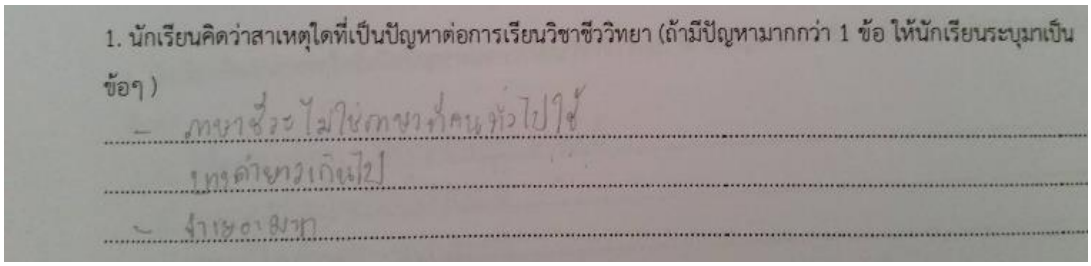
2) ข้อมูลจากแบบบันทึกหลังการเรียนรู้ ในส่วนของข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) หลังจากเรียนเรื่องระบบรักษาดุลยภาพ ซึ่งประกอบด้วย ระบบหายใจ ระบบขับถ่ายของเสีย ระบบหมุนเวียนเลือด และระบบภูมิคุ้มกัน พบว่านักเรียนให้ผลการตอบรับที่ดีสำหรับกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพในการเรียน



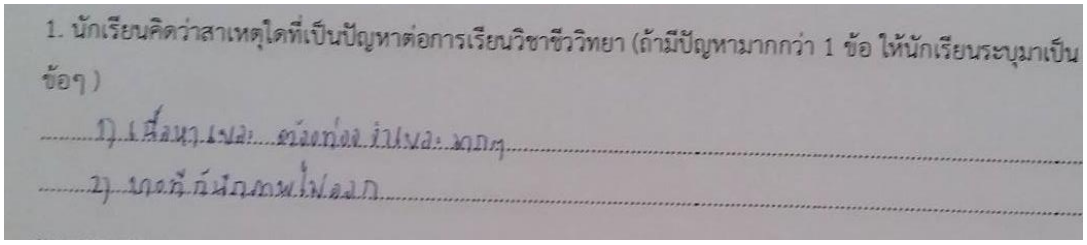
ตัวอย่างข้อมูลย้อนกลับ (feedback) หลังจากเรียนเรื่อง ระบบรักษาดุลยภาพ

3) ข้อมูลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับเจตคติในการเรียนวิชาชีววิทยา หลังจากนักเรียนเรียนจบเรื่องระบบรักษาดุลยภาพ ระบบกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว และกำลังเรียนเรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก ได้พูดคุยกับนักเรียนกลุ่มหนึ่งในห้องเรียน และได้ทราบว่านักเรียนไม่ชอบวิชาชีววิทยา และบอกว่าชีววิทยาเป็นวิชาที่ต้องจดจำเยอะ จึงได้สร้างแบบสอบถามเกี่ยวกับการเรียนชีววิทยาขึ้นมา เพื่อมาวิเคราะห์สภาพการเรียนการสอนที่เกิดขึ้น และนำมาสู่ที่มาของปัญหาวิจัย

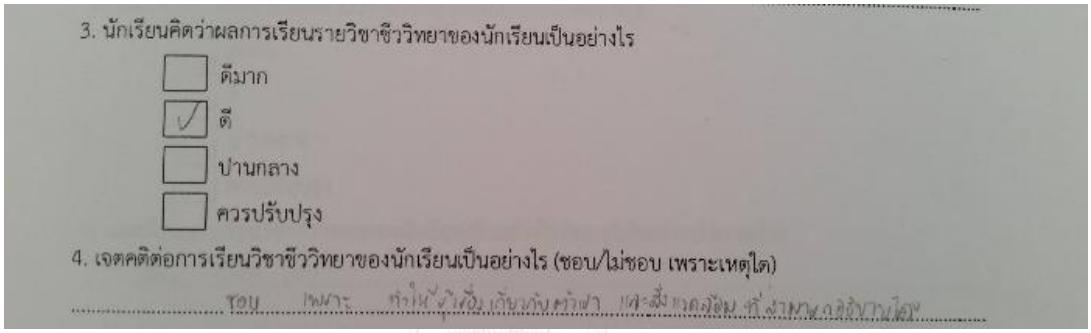



1. นักเรียนคิดว่าสาเหตุใดที่เป็นปัญหาต่อการเรียนวิชาชีววิทยา (ถ้ามีปัญหามากกว่า 1 ข้อ ให้นักเรียนระบุมาเป็นข้อๆ)

- ภาษาที่จะไม่ใช่ภาษาที่คนทั่วไปใช้
- เนื้อหาค่อนข้างเยอะ
- ศัพท์เยอะมาก


1. นักเรียนคิดว่าสาเหตุใดที่เป็นปัญหาต่อการเรียนวิชาชีววิทยา (ถ้ามีปัญหามากกว่า 1 ข้อ ให้นักเรียนระบุมาเป็นข้อๆ)

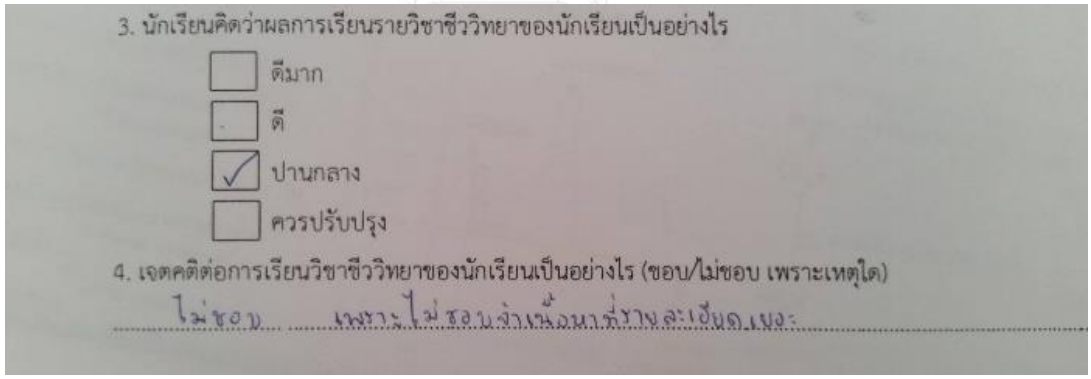
1) เนื้อหาเยอะ ต้องท่องจำเยอะมากๆ
2) บางทีก็มีภาษาที่ไม่คุ้นเคย


3. นักเรียนคิดว่าผลการเรียนรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร

- ☐ ดีมาก
- ☑ ดี
- ☐ ปานกลาง
- ☐ ควรปรับปรุง

4. เจตคติต่อการเรียนวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร (ชอบ/ไม่ชอบ เพราะเหตุใด)

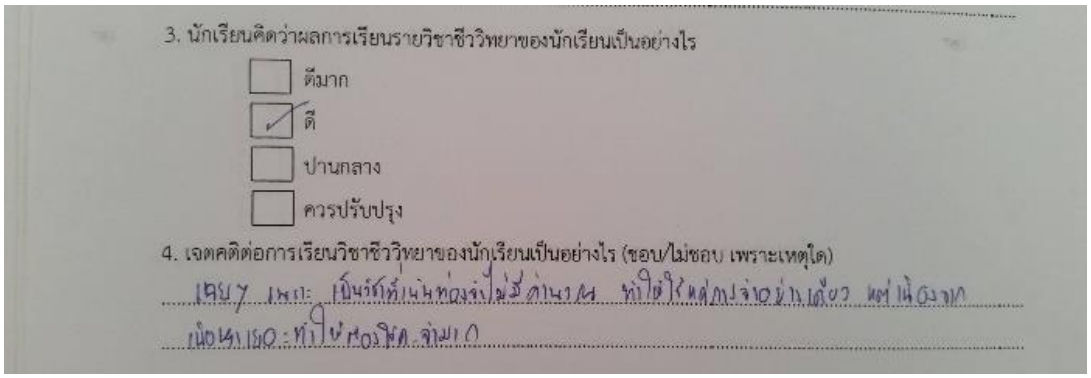
ชอบ เพราะ ทำให้เข้าใจเกี่ยวกับร่างกาย และสิ่งแวดล้อม ที่สามารถนำไปใช้


3. นักเรียนคิดว่าผลการเรียนรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร

- ☐ ดีมาก
- ☐ ดี
- ☑ ปานกลาง
- ☐ ควรปรับปรุง

4. เจตคติต่อการเรียนวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร (ชอบ/ไม่ชอบ เพราะเหตุใด)

ไม่ชอบ เพราะไม่ชอบจำเนื้อหาที่ยาวและเยอะ


3. นักเรียนคิดว่าผลการเรียนรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร

- ☐ ดีมาก
- ☑ ดี
- ☐ ปานกลาง
- ☐ ควรปรับปรุง

4. เจตคติต่อการเรียนวิชาชีววิทยาของนักเรียนเป็นอย่างไร (ชอบ/ไม่ชอบ เพราะเหตุใด)

เฉยๆ เพราะ เนื้อหาที่เน้นท่องจำไม่มีคำนวณ ทำให้ไม่ต้องจำอย่างเดียว แต่เนื้องานเนื้อหาเยอะ ทำให้ต้องใช้เวลาจำมาก

แสดงตัวอย่างการตอบแบบสอบถามของนักเรียน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม จากนักเรียน 27 คน ทำให้มองเห็นแนวโน้มที่เป็นปัญหาวิจัย และส่งผลต่อการเรียนรายวิชาชีววิทยา ดังนี้

1) เนื้อหาเยอะ ทำให้จดจำเนื้อหาไม่ได้ คิดเป็นร้อยละ 70

2) มองไม่เห็นภาพ จินตนาภาพไม่ออก คิดเป็นร้อยละ 26

3) จดจำคำศัพท์ไม่ได้ คิดเป็นร้อยละ 15

4) เนื้อหายากต่อการทำควงามเข้าใจ คิดเป็นร้อยละ 15

5) ขาดแรงจูงใจในการเรียน (เช่น เรียนแล้วง่วง ไม่อยากเรียน) คิดเป็นร้อยละ 11

6) อื่นๆ (เช่น ไม่มีสมาธิ อ่านหนังสือไม่ทัน ปัญหาการจัดระบบความคิด)

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกัน พบว่าสิ่งที่ส่งผลต่อการเรียนชีววิทยาของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.6 คือ ปัญหาในการสร้างมโนภาพ จึงสนใจจะศึกษาวิธีการ/แนวคิด/เทคนิคในการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างมโนภาพ และพบว่าตัวแปรที่สอดคล้องกับการมองเห็นภาพ คือ ตัวแทนความคิด (Representation) เนื่องมาจากการศึกษาในเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาที่กล่าวถึงตัวแทนความคิด (Representation) ไว้ว่า ตัวแทนความคิดเป็นการเปลี่ยนรูปของกรอบความคิดหรือภาพให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถจับต้องได้ โดยการแสดงแบบจำลองความคิด (Mental models) หรือโครงสร้างทางปัญญา (Cognitive structure) ออกมา (Wu & Puntambekar, 2012) ซึ่งการอธิบายตัวแทนความคิดจำแนกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ แบบจำลองที่เกิดขึ้นภายใน (Mental models) สิ่งที่นำเสนอ (Propositions) และภาพ (Images)

การนำตัวแทนความคิดที่เกี่ยวข้องกับการใช้ภาพแทน (Visual representations) มาใช้ในการจัดเรียนรู้ช่วยทำให้นักเรียนเกิดการสร้างความรู้ (Construction of knowledge) เกิดความเข้าใจ (Understanding) และช่วยในการถ่ายทอดข้อมูลออกมา รวมถึงช่วยทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์ในวิชาวิทยาศาสตร์ (Waldrip, Prain, & Carolan, 2010) ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องจากการเก็บข้อมูลในบริบทของห้องเรียนที่กล่าวมาข้างต้นว่า เมื่อนักเรียนขาดการมองเห็นภาพทางด้านชีววิทยาจะส่งผลต่อมโนทัศน์ของนักเรียนในการเรียนชีววิทยา

ข้อมูลจากวันที่ 20 ธันวาคม 2558

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวหนึ่งฤทัย เกียรติพิมล เกิดเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 ภูมิลำเนาจังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 ด้วยทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University