



การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน
(2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอน

ปลาย

CONCEPTUAL DEVELOPMENT ON PHOTOSYNTHESIS USING TEACHING STRATEGY
OF HEWSON AND HEWSON (2003) INCORPORATED WITH

ณัฐพงศ์ สกกุลกิจโกคานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน
(2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลับ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา
ตอนปลาย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

CONCEPTUAL DEVELOPMENT ON PHOTOSYNTHESIS USING TEACHING STRATEGY
OF HEWSON AND HEWSON (2003) INCORPORATED WITH
KOLB'S EXPERIENTIAL LEARNING MODEL FOR UPPER SECONDARY SCHOOL
STUDENTS



NATTHAPONG SAKUNKITPHOKHANON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Biology)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003)

ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

ณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิษฐา ศรีนวล)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	ณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง 2) ตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียน (normalized gain <g>) 3) พัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และ 4) ตรวจสอบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 32 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 7 แผน 2) แบบทดสอบวัดมโนคติแบบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น จำนวน 20 ข้อ 3) แบบสัมภาษณ์นักเรียน และ 4) แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ สถิติที่ใช้ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับความก้าวหน้าทางการเรียน การวิเคราะห์เนื้อหา และการวิเคราะห์ทางสถิตินอนพาราเมตริกด้วยวิธีทดสอบวิลคอกชัน สำหรับกลุ่มที่ศึกษาที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระดับความก้าวหน้าทางการเรียนหลังเรียนเป็นรายบุคคลอยู่ในระดับปานกลางจำนวนร้อยละ 75 และระดับต่ำจำนวนร้อยละ 25 และรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง (<g>=0.34) เมื่อพิจารณาระดับความเข้าใจมโนคติหลังเรียนพบว่า ความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง โดยมีระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นทั้ง 7 มโนคติ และนักเรียนจำนวนร้อยละ 84.38 มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ ด้านการวัดและประเมินผล และด้านกิจกรรมการเรียนรู้ โดยด้านกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ : การพัฒนามโนคติ, ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003), รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม, การสังเคราะห์ด้วยแสง

Title	CONCEPTUAL DEVELOPMENT ON PHOTOSYNTHESIS USING TEACHING STRATEGY OF HEWSON AND HEWSON (2003) INCORPORATED WITH KOLB'S EXPERIENTIAL LEARNING MODEL FOR UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS
Author	NATTHAPONG SAKUNKITPHOKHANON
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Somkiat Phornphisutthimas , Ph.D.

The purposes of this study were to: 1) compare the conceptual understanding of photosynthesis before and after the learning management; 2) assess the level of learning progress (normalized gain, $\langle g \rangle$); 3) enhance students' understanding of the concept of photosynthesis; and 4) explore students' satisfaction with the learning process. The study employed teaching strategies by Hewson and Hewson (2003), incorporated with Kolb's experiential learning model, for upper secondary students. The participants were 32 Grade-11 students in the Science-Mathematics programme during the second semester of the 2023 academic year, selected through purposive sampling. Research instruments included: 1) seven lesson plans, 2) a two-tier multiple choice diagnostic concept test with 20 items, 3) a student interview form, and 4) a survey on students' satisfaction with the learning process. Data were statistically analyzed using frequency, percentage, mean, standard deviation, normalized gain, content analysis, and nonparametric statistical analysis with the Wilcoxon matched pairs signed-rank test. The results revealed that the average conceptual understanding score after learning was significantly higher than those before learning at the .05 level. The individual normalized gain after learning was medium for 75% of the students and low for 25%, while the class average normalized gain was at a medium level ($\langle g \rangle = 0.34$). Examining the posttest conceptual understanding levels, students showed a decrease in the levels of no understanding or conception (NU/NC), alternative conception (AC), and partial understanding involving specific alternative conceptions (PS). The levels of partial understanding (PU) and complete understanding (CU) also increased across all seven key concepts; Furthermore, 84.38% of students demonstrated improved understanding of photosynthesis. Students expressed the overall satisfaction (i.e., contents, materials, assessments, and activities) at a high level, with the highest satisfaction ratings attributed to the learning activities.

Keyword : Conceptual development, Teaching strategy of Hewson and Hewson (2003), Kolb's experiential learning model, Photosynthesis

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถและอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณในความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากทุกท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และสนับสนุนเป็นอย่างดีเสมอมา ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนการวิจัย การทำปริญญานิพนธ์ จนกระทั่งเสร็จสิ้นการศึกษาในครั้งนี้ ความรู้และประสบการณ์ที่อาจารย์มอบให้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและให้ข้อมูลในด้านเนื้อหาชีววิทยาและชีววิทยาศึกษา ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.อัษฎริยา รังษิรุจิ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัตน์ ผลเพิ่ม อ.ดร.ธัชชา ศุภระจันทร นางปิยธิดา บุญชะตา และนางอารี อนันต์ศรี ที่ให้คำแนะนำ แนวทางการแก้ไข และความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิษฐาน ศรีนวล อาจารย์ประจำหลักสูตร ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ ช่วยให้การจัดทำปริญญานิพนธ์เป็นไปอย่างมีคุณภาพและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานครเขต 2 ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ทั้งในเรื่องของข้อมูล การเก็บข้อมูลงานวิจัย และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินการจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ และเพื่อนร่วมรุ่นและเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	6
ความสำคัญของการวิจัย.....	7
ขอบเขตของการวิจัย.....	7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	8
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	11
สมมติฐานของการวิจัย.....	13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
1. หลักสูตรชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	15
1.1 ผลการเรียนรู้.....	15
1.2 สารการเรียนรู้.....	15
1.3 สารสำคัญ.....	19
2. มโนคติ.....	20
2.1 ความหมายของมโนคติ.....	20

2.2 มโนคติทางวิทยาศาสตร์.....	21
2.2.1 ความหมายของมโนคติทางวิทยาศาสตร์	21
2.2.2 ประเภทของมโนคติทางวิทยาศาสตร์.....	22
2.3 มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์	23
2.3.1 ความหมายของมโนคติที่คลาดเคลื่อน.....	23
2.3.2 มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์	24
2.3.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดมโนคติที่คลาดเคลื่อน	25
2.4 มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	27
2.4.1 กรอบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	27
2.4.2 มโนคติทางวิทยาศาสตร์และมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	29
2.5 การจัดกลุ่มมโนคติ	36
2.6 วิธีและเครื่องมือวัดมโนคติ.....	39
2.6.1 แบบสัมภาษณ์มโนคติ.....	39
2.6.2 แบบทดสอบวัดมโนคติ.....	40
3. การพัฒนามโนคติ.....	44
3.1 ความหมายของการพัฒนามโนคติ.....	44
3.2 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติ	45
4. ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003)	50
5. รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ.....	51
5.1 ความหมายของการเรียนรู้จากประสบการณ์.....	51
5.2 ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์	52
5.3 ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์	53

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	66
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	69
1. กำหนดกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัย	69
2. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย.....	70
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	70
4. รูปแบบที่ใช้ในการวิจัย.....	71
5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	71
6. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	72
6.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	72
6.2 แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	78
6.3 แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	82
6.4 แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	83
7. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	84
8. วิธีการจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล.....	85
9. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	91
9.1 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของเครื่องมือ	91
9.2 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน	93
10. จริยธรรมการวิจัย.....	94
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	96
1. การวิเคราะห์คะแนนและเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติของนักเรียนทั้งกลุ่ม	96
2. การวิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ.....	97
3. การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลและรายกลุ่ม	112

4. การวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อในแต่ละมิติทั้ง 7 มิติ	113
5. การวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนเป็นรายบุคคล	128
6. การตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้	145
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	149
สรุปผลการวิจัย	149
อภิปรายผลการวิจัย	152
ข้อเสนอแนะ	166
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	166
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	168
บรรณานุกรม	169
ภาคผนวก	184
ภาคผนวก ก เอกสารการขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์	185
ภาคผนวก ข รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	187
ภาคผนวก ค ผลคะแนนและตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนที่นำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา	189
ภาคผนวก ง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	196
1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้	197
2. แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	225
3. แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	237
4. แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	239
ภาคผนวก จ ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	243
ประวัติผู้เขียน	253

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 มโนคติทางวิทยาศาสตร์และมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	30
ตาราง 2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้วัดมโนคติแต่ละรูปแบบ	43
ตาราง 3 แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ.....	59
ตาราง 4 แบบแผนการทดลอง	71
ตาราง 5 กรอบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง 7 มโนคติ.....	73
ตาราง 6 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยแบ่งตามแผนการจัดการเรียนรู้.....	77
ตาราง 7 เกณฑ์การประเมินตามระดับความเข้าใจมโนคติ.....	86
ตาราง 8 แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบเพื่อตรวจให้คะแนนและจัดระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง 7 มโนคติ	87
ตาราง 9 ผลการเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของนักเรียนทั้งกลุ่ม ...	97
ตาราง 10 จำนวนความถี่และร้อยละระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายข้อในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ.....	115
ตาราง 11 ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	146
ตาราง 12 คะแนนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังเรียน และระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา	190
ตาราง 13 ผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้	244
ตาราง 14 ผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	246

ตาราง 15 ค่าดัชนีความยากง่าย (p) ค่าดัชนีอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น (R) ของ แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	248
ตาราง 16 ผลการประเมินความตรงของแบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ..	249
ตาราง 17 ผลการประเมินความตรงของแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การ สังเคราะห์ด้วยแสง.....	251



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	12
ภาพประกอบ 2 สมการเคมีแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	16
ภาพประกอบ 3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 2 ขั้นตอน	16
ภาพประกอบ 4 ปฏิกริยาแสง	17
ภาพประกอบ 5 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	18
ภาพประกอบ 6 การตรึงคาร์บอนอนินทรีย์ของพืช C_4	19
ภาพประกอบ 7 แผนผังมโนทัศน์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	28
ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี	56
ภาพประกอบ 9 ระดับความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี	113
ภาพประกอบ 10 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ในภาพรวม (แบบทดสอบทั้งฉบับ) เรื่อง การสังเคราะห์ ด้วยแสง ก่อนและหลังของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสัน และฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี	116
ภาพประกอบ 11 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์เป็นรายข้อ.....	117
ภาพประกอบ 12 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในภาพรวม	118
ภาพประกอบ 13 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกริยาแสงเป็นรายข้อ	119
ภาพประกอบ 14 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกริยาแสงในภาพรวม	119
ภาพประกอบ 15 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 3 ปฏิกริยาแสงเป็นรายข้อ	120
ภาพประกอบ 16 ระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ 3 ปฏิกริยาแสงในภาพรวม.....	121

ภาพประกอบ 17 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นรายข้อ	122
ภาพประกอบ 18 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในภาพรวม	122
ภาพประกอบ 19 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 5 โฟโตเรสไพเรชันเป็นรายข้อ	123
ภาพประกอบ 20 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 5 โฟโตเรสไพเรชันในภาพรวม	124
ภาพประกอบ 21 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นรายข้อ	125
ภาพประกอบ 22 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในภาพรวม	125
ภาพประกอบ 23 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นรายข้อ	126
ภาพประกอบ 24 ระดับความเข้าใจโมเดลที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ในภาพรวม	127
ภาพประกอบ 25 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 1	128
ภาพประกอบ 26 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 2	129
ภาพประกอบ 27 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 3	129
ภาพประกอบ 28 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 4	130
ภาพประกอบ 29 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 5	130
ภาพประกอบ 30 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 6	131
ภาพประกอบ 31 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 7	131
ภาพประกอบ 32 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 8	132
ภาพประกอบ 33 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 9	132
ภาพประกอบ 34 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 10	133

ภาพประกอบ 58 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 21.....	193
ภาพประกอบ 59 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 5...	193
ภาพประกอบ 60 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 16.	194
ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 29.	194
ภาพประกอบ 62 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 8...	195



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะเกี่ยวข้องกับชีวิตของทุกคน ทั้งในการดำรงชีวิตประจำวันและในงานอาชีพต่าง ๆ เครื่องมือเครื่องใช้ตลอดจนผลผลิตต่าง ๆ เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงาน ทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจโลกธรรมชาติ และเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551) โดยเฉพาะสาขาวิชาชีววิทยามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในศตวรรษที่ 21 เป็นยุคของชีววิทยา (the 21st century: the age of biology) (Glover, 2012) การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ชีววิทยาคือเป็นวิทยาการสมัยใหม่ที่มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น เทคโนโลยีชีวภาพและจีโนมิกส์ (biotechnology and genomics) และพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) ที่มีการพัฒนาซับซ้อนขึ้นเป็นอย่างมากในช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 และจะส่งผลต่อการผลิตและการจ้างงานในอัตราเร่งที่น่ากังวลอย่างมากในอนาคต (World Economic Forum, 2016; ไกรยส ภัทราวาท, 2559) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษาในรายวิชาชีววิทยาโดยตรง แสดงให้เห็นว่าวิชานี้มีความสำคัญและจำเป็นต่อการจัดการเรียนการสอนให้มีคุณภาพอย่างยิ่ง

วิชาชีววิทยาเป็นสาระการเรียนรู้ที่อยู่ในหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยทั่วไปจนถึงระดับปริญญาตรี (Karakaya, Yilmaz, & Aka, 2021; นภาพรพรณ ไพรรพยอม, 2564) ที่มีสาระสำคัญหลายอย่างที่เกี่ยวกับการใช้ชีวิตในปัจจุบัน เช่น การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การเข้าใจระบบการทำงานของร่างกายเพื่อให้เกิดสุขอนามัยที่ดีอันจะนำไปสู่การมีสังคมที่อยู่ดีมีสุขและรู้วิธีการอนุรักษ์ธรรมชาติให้คงอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเยาวชนให้เป็นพลเมืองที่น่าพาประเทศไปสู่โมเดลไทยแลนด์ 4.0 ที่มีเป้าหมายพัฒนาประเทศให้เป็นประเทศโลกที่หนึ่งภายในปี พ.ศ. 2579 (Jedaman, Buaraphan, Yuenyong, Suksup, & Kraisriwattana, 2018) อีกทั้งการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพในศตวรรษที่ 21 นั้นมีความคาดหวังให้พลเมืองในศตวรรษนี้เป็นผู้มีความรอบรู้ เป็นนักคิดและนักแก้ปัญหา สามารถนำความรู้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและทันทั่วทั้งที่ (นภาพรพรณ ไพรรพยอม, 2564) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาจึงต้องออกแบบและวางแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนด้านต่าง ๆ ทั้งด้านองค์ความรู้ในมิติหรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ด้านทักษะการคิดระดับสูง ด้าน

ทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 และด้านทักษะอื่น ๆ ตลอดจนเจตคติทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนเป็นนักคิดและสามารถใช้ความรู้วิทยาศาสตร์โดยเฉพาะชีววิทยาในทางที่สร้างสรรค์สามารถนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและผู้อื่นอย่างมีคุณธรรม เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศชาติต่อไป (Jedaman et al., 2018; Yuenyong, 2019)

ในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาเน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ แต่ยังพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากเนื้อหาส่วนใหญ่เป็นนามธรรม นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับประสบการณ์หรือชีวิตประจำวันได้ (Keleúa & Kefelib, 2010; ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557) และการจัดการเรียนการสอนส่วนใหญ่เป็นแบบบรรยายมากกว่าการลงมือปฏิบัติ ไม่ได้มีโอกาสได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์และลงมือสำรวจตรวจสอบเพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเอง (ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557) โดยเฉพาะ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เป็นเนื้อหาในหลักสูตรของหลายประเทศ (Lim & Poo, 2021) ที่กล่าวถึงมโนคติที่สำคัญในทางชีววิทยาและเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานสำหรับสิ่งมีชีวิตบนโลก (Susanti, 2018)

มโนคติทางวิทยาศาสตร์ (scientific concepts) เป็นแนวความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่ได้มาจากข้อเท็จจริงตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ เกิดการแยกแยะ เปรียบเทียบความแตกต่างและหาความสัมพันธ์ จนเกิดข้อสรุปต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นไปตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์และยอมรับกันทั่วไปในขณะนั้น โดยความเข้าใจของมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มีการศึกษาค้นคว้าและงานวิจัยอย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง (Akçay, 2017; Cullinane & Liston, 2011; Jayanti, 2020; Karakaya et al., 2021; Kirilmazkaya & Kirbağ Zengin, 2016; Lim & Poo, 2021; Lin & Hu, 2003; Susanti, 2018; Svandova, 2014) เนื่องจากเป็นมโนคติที่ยากต่อการเข้าใจ เป็นนามธรรม มีกระบวนการซับซ้อนในระดับเซลล์และโมเลกุล และปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน (Oliver & Troemel, 2022; Susanti, 2018; Wahyono & Susetyarini, 2021; ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557) ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางชีววิทยาและเคมี โดยเฉพาะความเข้าใจเรื่องปฏิกิริยาเคมี สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และยังเชื่อมโยงกับเรื่องอื่นในวิชาชีววิทยา เช่น นิเวศวิทยา ชีวเคมี กายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (Tekkaya, Ozkan, & Sungur, 2001; อังคณา ปัทมพงศา, 2555) อีกทั้งต้องทราบลักษณะโครงสร้างของพืชและปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ที่เอื้ออำนวยต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (Brancaleoni, Curtis, Hohenstein, & Turrini, 2008; Gerdol, Bragazza, & Brancaleoni, 2008)

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษาและสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560) ได้กำหนดเนื้อหา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้ในหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ประกอบไปด้วยหัวข้อย่อย เช่น พลังงานแสง (light energy) สารสี (pigment) ปฏิกิริยาแสง (light reaction) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) และโฟโตเรสไพเรชัน (photorespiration) อย่างไรก็ตามมโนมตินี้ ก็ยังเป็นมโนคติที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนเป็นลำดับแรกของมโนคติในกลุ่มวิชาชีววิทยา (พงษ์-ประพันธ์ พงษ์โสภณ, พัฒน์ จันทร, กันทิมาณี พันธุวิเชียร, และ วรณทิพา รอดแรงคำ, 2546) จาก ประสพการณ์สอนของผู้วิจัยและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ผู้เรียนยังขาดความเข้าใจ ในมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นอย่างมาก (Svandova, 2014) แม้จะผ่านการเรียน มาแล้วก็ตาม และผลการวิจัยพบว่า นักเรียนร้อยละ 99 ไม่เข้าใจบทบาทของคลอโรฟิลล์ใน ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงและร้อยละ 46 ไม่เข้าใจการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี (Susanti, 2018) และมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับบทบาทของอิเล็กตรอน (สิริมา มิ่งเมือง, 2547; และ นฤมล ยุตาคม, 2547; สิริมา มิ่งเมือง, 2560)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยรูปแบบหรือวิธีการสอน เช่น การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ การใช้เทคนิค แผนผังความคิดหรือผังมโนคติ การใช้ยุทธศาสตร์สแคฟโฟลด์ดิ้ง หรือวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลง มโนคติที่มีอยู่เดิม พบว่า นักเรียนยังมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 โฟโตเรสไพเรชัน การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช CAM และปฏิกิริยาแสง และงานวิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ศึกษา ครอบคลุมในทุกหัวข้อของหน่วยการเรียนรู้เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มีสาเหตุมาจากเนื้อหาที่มีลักษณะซับซ้อนและต้องเชื่อมโยง ความสัมพันธ์หลายมโนคติจึงเป็นเรื่องที่เข้าใจยาก เนื้อหาส่วนหนึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเป็นนามธรรม (ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557; สิริมา มิ่งเมือง, 2560; อังคณา ปัทมพงศา, 2555) และสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อมโนคติของนักเรียนคือการ จัดการเรียนรู้เน้นท่องจำ จึงทำให้นักเรียนเป็นผู้รับความรู้ขาดมโนคติได้ (เนตรดาว นุ่มเกลี้ยง, 2554) ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการสอนให้นักเรียนเข้าใจ มโนคติทางวิชาชีววิทยาด้วยรูปแบบ วิธีและเทคนิคที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สังเกต สำนวนจ ตรวสอบ ลงมือปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจมโนคติ หลักการ กฎ และทฤษฎีต่าง ๆ ทาง ชีววิทยาที่ถูกต้อง และศึกษาในทุกหัวข้อหรือมโนคติของเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อให้

นักเรียนเห็นความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในทุกมโนติและพัฒนาความเข้าใจได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษารูปแบบ วิธีและเทคนิคการจัดการเรียนรู้หรือการสอนต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนติที่ถูกต้องและลดมโนติที่คลาดเคลื่อน (alternative conceptions) เกิดความกระตือรือร้นขณะเรียนวิทยาศาสตร์ ตลอดจนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จากการศึกษาการพัฒนา มโนติ (conceptual development) มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ เป็นการเปลี่ยนแปลงแนวคิดหรือความเข้าใจภายใน ตัวบุคคลที่ไม่ตรงกับมโนติทางวิทยาศาสตร์เป็นความเข้าใจที่ถูกต้องตามมโนติทางวิทยาศาสตร์ แต่มโนติที่คลาดเคลื่อนเป็นสิ่งที่สามารถปรับให้ถูกต้องได้ยากและเมื่อเกิดมโนติที่คลาดเคลื่อนแล้วจะคงอยู่กับนักเรียนเป็นเวลานาน หากไม่ทำการแก้ไขมโนติที่คลาดเคลื่อนก็จะส่งผลต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนเกิดการยอมรับมโนติทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องในระดับมโนติที่สูงขึ้นลดลง (Oliver & Troemel, 2022; Treagust & Duit, 2008) โดยการสอนเพื่อพัฒนา มโนตินั้นพบว่า ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ช่วยทำให้นักเรียนมีมโนติที่ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ (กฤตธรรม แพนลันฟ้า, เศรษฐ์ ศิริสวัสดิ์, และ ศรัณย์ ภิบาลชนม์, 2561; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนติที่คลาดเคลื่อนนั้นมีการนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาใช้จัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยา ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจกับเนื้อหาที่เรียนได้ชัดเจนและมีมโนติที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง (พิชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552; วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556) เซลล์ (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553) การสืบพันธุ์ของสัตว์ (สุนิษา คำสะอาด, 2558) การสืบพันธุ์ของพืชดอก (ปวีณา งามชัด, 2556) และในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ (อรรถพล พลอยมีค่า, 2562; อิศราพร เกรินทวงศ์, 2557)

ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ได้อ้างอิงทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนติของ Posner, Strike, Hewson, & Gertzog (1982) ซึ่งระบุว่า มโนติใหม่จะสามารถบูรณาการเข้ากับมโนติเดิมได้ เมื่อมีการตอบสนองต่อเงื่อนไข 3 ประการ คือ มโนติใหม่ต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) มีเหตุผลน่าเชื่อถือ (plausible) และมีประโยชน์ต่อผู้เรียน (fruitful) โดยฮิวสันและฮิวสันได้เสนอแนะว่าการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนา มโนติควรประกอบด้วยยุทธศาสตร์ 4 ประการ ได้แก่ การบูรณาการ (integration) การแยกความแตกต่าง (differentiation) การแลกเปลี่ยน (exchange) และการเชื่อมประสานการรับรู้มโนติ (conceptual bridging) ซึ่งทั้ง 4 ยุทธศาสตร์และเงื่อนไขทั้ง 3 ประการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนา มโนติเดิมของผู้เรียนให้กลายเป็นมโนติใหม่ที่ถูกต้อง

สมบูรณ์ แต่เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ไม่มีรูปแบบหรือขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นระบบชัดเจน ซึ่งทำให้การนำไปใช้เพื่อพัฒนานิคมติอาจจะเป็นเรื่องที่ทำนายสำหรับผู้สอน (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) ดังนั้น การออกแบบรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันจะช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีขั้นตอนที่ชัดเจน และทำให้การพัฒนานิคมติของผู้เรียนสามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

รูปแบบในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการพัฒนานิคมตินั้นมีหลากหลายรูปแบบ โดยผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบหรือวงจรการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb's experiential learning model) (Kolb, 1984, 2014) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ซึ่งจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังไม่มีการนำมาใช้ร่วมกันในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นวงจร ทำให้เกิดการพัฒนานิคมติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทวีพิสิริ เสนิงค์ ณ อยุธยา, สรรฐ ฤทธิธรรค์ศักดิ์, นิศรา ระวียัน, และ วาสนา จักรแก้ว, 2564; นงนุช เลือพุมิ, วลทณี นาคศรีสังข์, และ ประไพพิศ สิงหเสม, 2560) และมีลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงนิคมติ สามารถนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นได้อย่างชัดเจน จนสร้างนิคมติใหม่ได้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience) ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต (reflective observation) ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract conceptualization) และขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation) (Kolb, 1984, 2014; McCarthy, 2016) โดยขั้นที่ 1 เป็นขั้นที่ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกรับรู้จากประสบการณ์จริง ผู้สอนจึงสามารถวางแผนเพื่อให้ผู้เรียนรู้นิคมติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ส่วนขั้นที่ 2 เป็นขั้นที่ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกตและสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม จนนำมาสู่ขั้นที่ 3 เป็นขั้นที่ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด สังเกตแล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นนิคมติของตนเอง ผู้เรียนจะเกิดกระบวนการปรับปรุงนิคมติเพื่อทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นนิคมติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับนิคมติใหม่ได้ในที่สุด จากนั้นยังสามารถทำให้ผู้เรียนที่มีนิคมติใหม่แล้วนั้นสามารถนำนิคมติใหม่ไปอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในขั้นที่ 4 เป็นขั้นที่ผู้เรียนนำนิคมติใหม่ที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติ

ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนเกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่และพัฒนาไปสู่ระดับโมเดลที่สูงขึ้น ทำให้ผู้เรียนเห็นว่าโมเดลใหม่นั้นมีประโยชน์กับผู้เรียนนั่นเอง จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) นั้นสามารถนำมาใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) เพื่อพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนามโนคติของนักเรียนให้เกิดความเข้าใจมโนคติที่ถูกต้องและลดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับครู อาจารย์ และนักวิจัยด้านชีววิทยาศึกษาหรือวิทยาศาสตร์ศึกษาในการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เปรียบเทียบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. ตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
3. พัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
4. สำนวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณภาพ เพื่อพัฒนามโนคติและความพึงพอใจของนักเรียน โดยพัฒนาเป็นแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง แบบสัมภาษณ์ และแบบสำรวจความพึงพอใจ สำหรับการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางในการพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยา ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่ได้รับ มีการสังเกต นำประสบการณ์มาพิจารณาไตร่ตรองเพื่อสร้างเป็นแนวคิด และนำแนวคิดไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ๆ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ปรับใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาหรือส่งเสริมความเข้าใจมโนคติในรายวิชาชีววิทยาและรายวิชาอื่น ๆ สำหรับผู้สอนและผู้ที่เกี่ยวข้องอันจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อนักเรียนต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานครเขต 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 เป็นนักเรียนที่สมัครใจและเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ตามระยะเวลาวิจัย จำนวนทั้งหมด 32 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

2. ระยะเวลาในการวิจัย

ผู้วิจัยสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และดำเนินการสอนโดยใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 15 คาบ ๆ ละ 50 นาที จำนวน 3 คาบต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนเอง

3. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551; สำนักวิชาการและมาตรฐาน

การศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สารชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ หน่วยการเรียนรู้เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง กำหนดเนื้อหาประกอบด้วย 7 มโนคติ ดังนี้

- 1) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์
- 2) พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง
- 3) ปฏิกิริยาแสง
- 4) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) โฟโตเรสไพเรชัน
- 6) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 7) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

นิยามศัพท์เฉพาะ

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดนิยามศัพท์เฉพาะไว้ดังนี้

1. **ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน** หมายถึง ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติของฮิวสันและฮิวสัน ประกอบด้วยยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์ในการสอน 4 ยุทธศาสตร์ (Hewson & Hewson, 2003) ดังนี้

1) การบูรณาการ (integration) เป็นการบูรณาการการรับรู้มโนคติใหม่กับการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน ยุทธศาสตร์นี้เป็นยุทธศาสตร์ที่ใช้กันมากในการสอนวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน และอยู่บนพื้นฐานของข้อสันนิษฐานในการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมของนักเรียนที่ครูนำไปใช้สอน

2) การแยกความแตกต่าง (differentiation) เป็นการแยกการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมกับการรับรู้มโนคติอื่นที่ใกล้เคียงกันแต่มีความชัดเจนกว่า โดยผู้เรียนจะต้องแสดงเหตุผลเพื่อให้มโนคติใหม่ฟังดูน่าเชื่อถือ และมโนคติใหม่จะต้องมีความสามารถ ในการแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่ได้

3) การแลกเปลี่ยน (exchange) เป็นการแลกเปลี่ยนการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมกับการรับรู้มโนคติอันใหม่ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่การรับรู้มโนคติจะมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้ทั้งคู่ จะต้องทำให้นักเรียนเกิดความไม่พอใจในการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมและอย่างน้อยมโนคติใหม่สามารถอธิบายและทำนายได้มากกว่าอันเดิม

4) การเชื่อมประสานการรับรู้มโนคติ (conceptual bridging) เพื่อสร้างบริบทที่เหมาะสม โดยใช้มโนคติเชิงนามธรรมที่เพิ่งเรียน ช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมที่ทำให้นักเรียนมองเห็นว่ามโนคติใหม่เหล่านี้ มีเหตุผลน่าเชื่อถือได้และมีประโยชน์เป็นที่น่าสนใจ

โดยองค์ประกอบของมโนคติใหม่ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนคติกับผู้เรียนต้องมีเงื่อนไของค์ประกอบ ดังนี้

1) มโนคติต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) ผู้เรียนต้องรู้วามโนคติใหม่คืออะไร สามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับมโนคตินั้น และเห็นว่าเป็นสิ่งที่ถูกต้องและเข้าใจได้ง่าย

2) มีเหตุผลน่าเชื่อถือ (plausible) ผู้เรียนต้องเห็นวามโนคติใหม่นี้เข้าใจได้ดีและเชื่อว่าเป็นความจริง น่าเชื่อถือ สามารถเชื่อมโยงมโนคติใหม่กับมโนคติอื่น ๆ ที่มีอยู่เดิม

3) มีประโยชน์ (fruitful) ผู้เรียนต้องเห็นวามโนคติต้องมีประโยชน์ สามารถอธิบายทำนาย แก้ปัญหาชี้แนะวิธีการใหม่ ๆ ได้

2. รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ หมายถึง การจัดการเรียนรู้แบบเน้นประสบการณ์เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการดำเนินการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามเป้าหมายอย่างครบถ้วนจากประสบการณ์ที่ได้รับ มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์โดยการลงมือปฏิบัติอย่างมีขั้นตอน และมีการไตร่ตรองประสบการณ์ที่ได้รับ เพื่อนำไปสู่การสรุปเป็นองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยมีผู้สอนเป็นผู้ชี้แนะแนวทางและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียนประกอบด้วยวงจรการเรียนรู้ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (Kolb, 1984, 2014) ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกจากประสบการณ์จริง (experiencing) ใช้ความรู้สึกในการรับรู้ข้อมูล เรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เช่น การเรียนการสอนในห้องเรียน การอ่านหนังสือ การดูวีดิทัศน์ การทดลอง และการพูดคุยและประชุม

ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต (reflective observation) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (reflecting) เป็นการเรียนรู้จากการดู การสังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำความเข้าใจ ใช้เวลาไตร่ตรองเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน เช่น การเขียนสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ การบันทึกการเรียนรู้ การทำการบ้าน และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้เรียน

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract conceptualization) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด จากการสังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นแนวคิด

ของตนเอง (thinking) เป็นการเรียนรู้จากการคิดหลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะคิดหาข้อสรุปเป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือกฎเกณฑ์ เช่น การเขียนแผนภาพมโนคติ การสรุปการเรียนรู้ออกมาเป็นรูปแบบหรือกรอบแนวคิด และการนำเสนอผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ (acting) เป็นการเรียนรู้จากการลงมือทำ (doing) ผู้เรียนจะนำประสบการณ์หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ เช่น สิ่งที่จะต้องเรียนรู้ต่อไป แนวทางในการพัฒนาต่อหรือศึกษาต่อ รวบรวมสิ่งที่เรียนรู้ถูกต้องหรือผิดพลาดเพื่อดำเนินการเรียนรู้ในขั้นตอนที่ 1 และการทำโครงการ แบบฝึกหัด การบ้าน รวมทั้งการอภิปรายกลุ่ม

3. มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หมายถึง ความคิดรวบยอด แนวความคิด หรือความเข้าใจของนักเรียนที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ เกิดการแยกแยะ การเปรียบเทียบความแตกต่าง และหาความสัมพันธ์จนเกิดข้อสรุปต่อ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นไปตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์และยอมรับกันทั่วไป ประกอบด้วย 7 มโนคติ ได้แก่ โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง ปฏิกิริยาแสง ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โฟโตเรสไพเรชัน การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยวัดจากการทำแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แบ่งระดับความเข้าใจมโนคติของผู้เรียนออกเป็น 5 ระดับ (Abraham, Williamson, & Westbrook, 1994) ดังนี้

1) ความเข้าใจมโนคติในระดับที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูก และการให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละมโนคติ

2) ความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding: PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูก และการให้เหตุผลถูกต้องขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน

3) ความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific alternative conception: PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกบางส่วน แต่บางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเลือกคำตอบถูกแต่ไม่อธิบายคำตอบ

4) ความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (alternative conception: AC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด

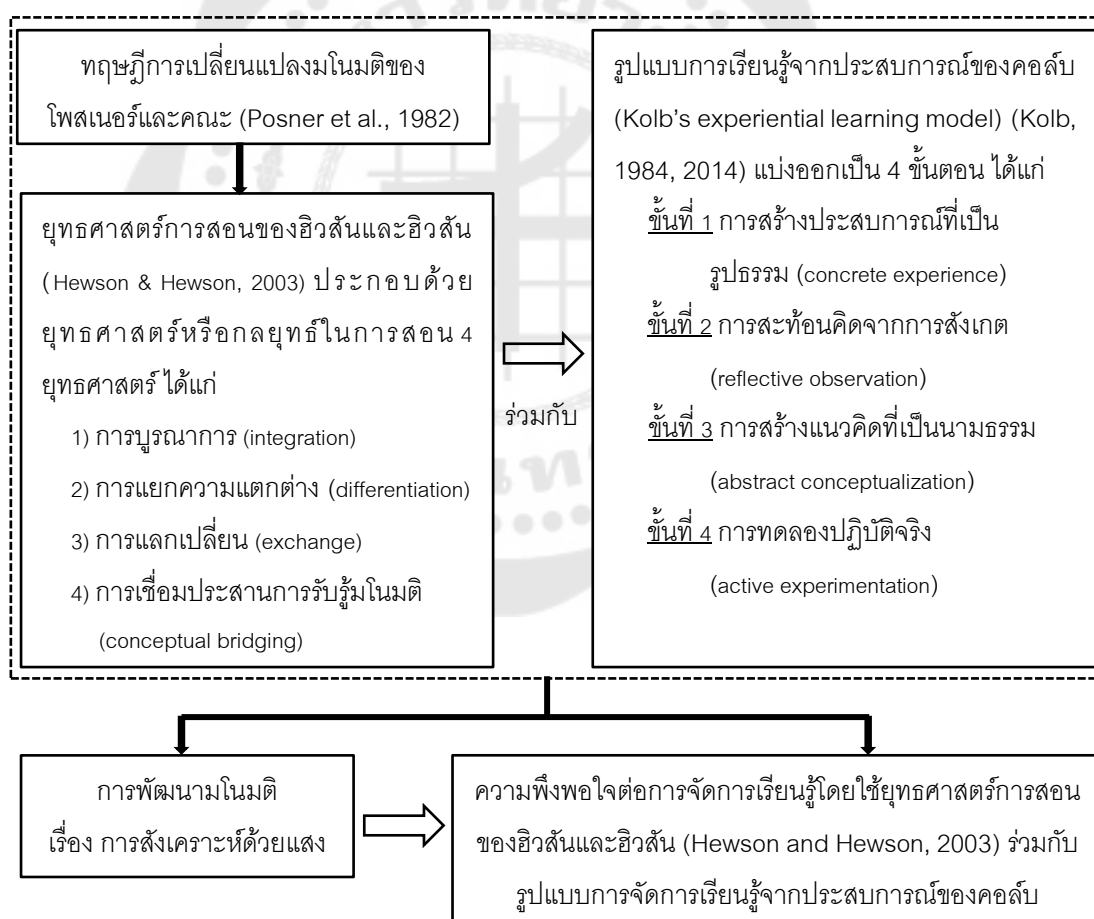
5) ความไม่เข้าใจหรือไม่มีโนมตี (no understanding: NU or no conception: NC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาการพัฒนาโนมตีและสำรวจความพึงพอใจ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) จากการศึกษาผลการใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) จะช่วยทำให้นักเรียนมีโนมตีที่ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ (กฤตธรรม แพนล้นฟ้า และคนอื่น ๆ, 2561; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติที่คลาดเคลื่อนนั้นมีการนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาใช้จัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยา ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจกับเนื้อหาที่เรียนได้ชัดเจนและมีโนมตีที่ถูกต้องมากขึ้น (ปวีนา งามชัด, 2556; พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; พิชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552; วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556; สุนิษา คำสะอาด, 2558) โดยยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ได้อ้างอิงทฤษฎีการเปลี่ยนการรับรู้โนมตีของ Posner et al. (1982) ว่าต้องมีเงื่อนไข 3 ประการที่มโนคติใหม่จะเป็นที่พอใจก่อนที่จะสามารถบูรณาการเข้าไปกับความรู้เดิม คือ มโนคติใหม่เข้าใจได้ง่าย มีเหตุผลน่าเชื่อถือ และเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และเสนอแนะว่ายุทธศาสตร์การสอนควรประกอบด้วยการบูรณาการ การแยกความแตกต่าง การแลกเปลี่ยน และการเชื่อมประสานการรับรู้โนมตี โดยทั้ง 4 ยุทธศาสตร์และเงื่อนไข 3 ประการของมโนคติใหม่นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนามโนคติเดิมสู่มโนคติใหม่ที่ต้องสมบูรณ์ แต่เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ไม่มีรูปแบบการจัดการเรียนรู้เป็นแบบแผนขั้นตอนแน่นอน ทำให้นำไปใช้และพัฒนามโนคติได้ยาก (อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) ผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบหรือวงจรการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) โดยรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นวงจร ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม และขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (Kolb, 1984, 2014; McCarthy, 2016) ทำให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทรัพย์สิริ เสนิงค์ ณ อยุธยา และคนอื่น ๆ, 2564) และมีลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติ สามารถนำ

ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละชั้นได้อย่างชัดเจนจนพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการพัฒนาโนคติของผู้เรียน โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และช่วยให้ผู้เรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนคติสู่ระดับที่สูง จึงสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ สามารถพัฒนามโนคติและส่งผลต่อความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. นักเรียนจำนวนอย่างน้อยร้อยละ 60 มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บอยู่ในระดับปานกลาง
3. นักเรียนจำนวนอย่างน้อยร้อยละ 80 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติแต่ละมโนคติสูงขึ้นและเกิดการพัฒนาความเข้าใจมโนคติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ
4. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการวิจัยสำหรับการศึกษาการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นสำคัญของการวิจัย ตามหัวข้อดังนี้

1. หลักสูตรชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 1.1 ผลการเรียนรู้
 - 1.2 สาระการเรียนรู้
 - 1.3 สาระสำคัญ
2. มโนคติ
 - 2.1 ความหมายของมโนคติ
 - 2.2 มโนคติทางวิทยาศาสตร์
 - 2.3 มโนคติที่คลาดเคลื่อน
 - 2.4 มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 2.5 การจัดกลุ่มมโนคติ
 - 2.6 วิธีและเครื่องมือวัดมโนคติ
3. การพัฒนามโนคติ
 - 3.1 ความหมายของการพัฒนามโนคติ
 - 3.2 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติ
4. ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003)
5. รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ
 - 5.1 ความหมายของการเรียนรู้จากประสบการณ์
 - 5.2 ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์
 - 5.3 ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หลักสูตรชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551) และตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ได้มีการกำหนดเนื้อหา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้ในสาระวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม สาระชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยได้มีการกำหนดไว้ดังนี้

1.1 ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียนรวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562a)

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้กำหนดผลการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้จำนวน 4 ผลการเรียนรู้ ดังนี้ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

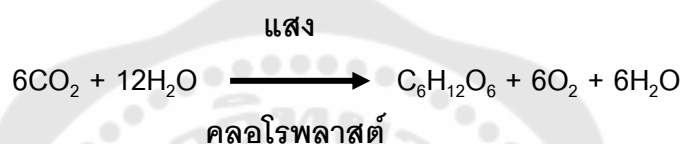
- 1) สืบค้นข้อมูล และสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
- 2) อธิบายขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3
- 3) เปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_3 พืช C_4 และ พืช CAM
- 4) สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปปัจจัยความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

1.2 สาระการเรียนรู้

สาระการเรียนรู้เป็นองค์ความรู้ ทักษะหรือกระบวนการเรียนรู้ และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ กำหนดให้ผู้เรียนทุกคนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจำเป็นต้องเรียนรู้ โดยแบ่งเป็น 8 กลุ่มสาระการเรียนรู้ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551)

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้กำหนด สาระการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้ดังนี้ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

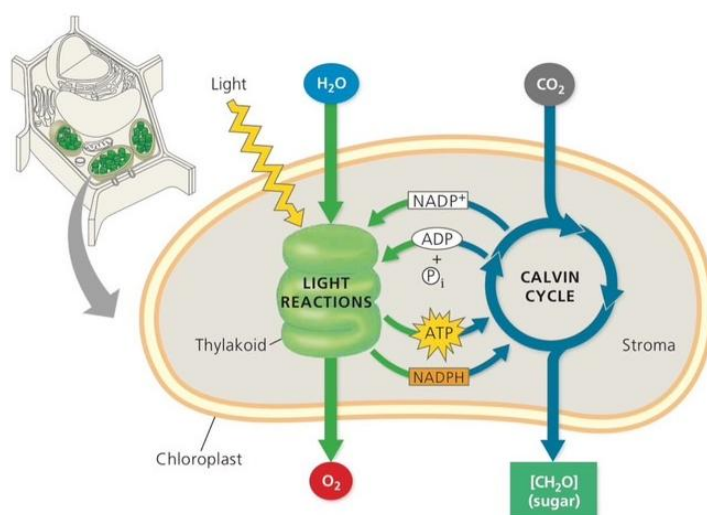
การศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตทำให้ได้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมาเป็นลำดับขั้นจนได้ข้อสรุปว่า คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นวัตถุดิบที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และผลผลิตที่ได้ คือ น้ำตาล ออกซิเจน โดยอาจเขียนเป็นสมการเคมีแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 สมการเคมีแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562a)

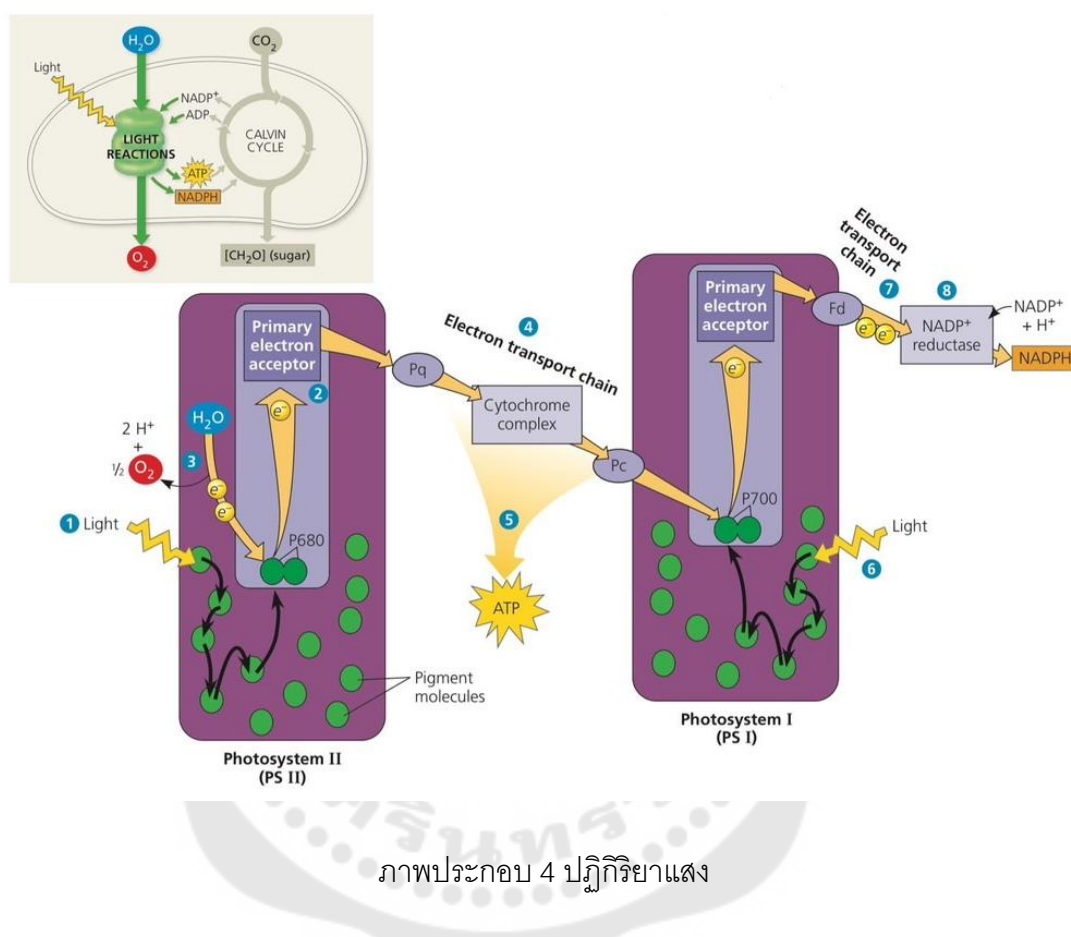
กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมี 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาแสง และการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 2 ขั้นตอน

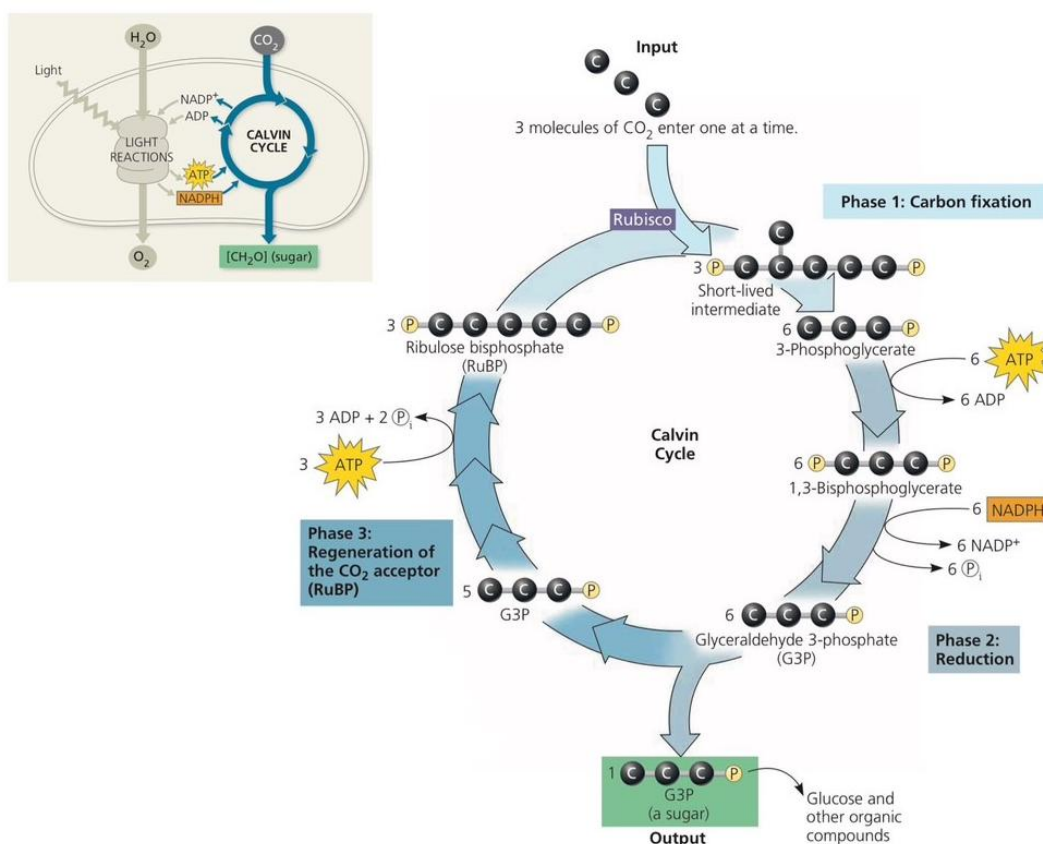
ที่มา : Urry, Cain, Wasserman, Minorsky & Orr (2020)

ปฏิกิริยาแสงเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี โดยแสงออกไซด์โมเลกุลสารสีที่ไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ ทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ในสโตรมาของคลอโรพลาสต์ ดังภาพประกอบ 4



ที่มา : Urry et al. (2020)

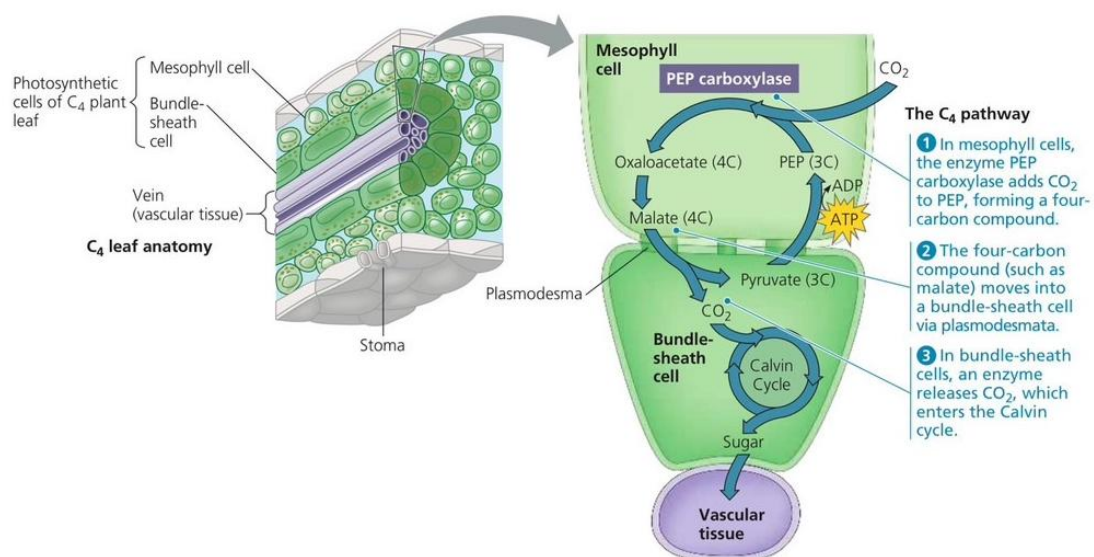
การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดในสโตรมา โดยใช้ RuBP และเอนไซม์รูบิสโก (RuBisCO) ได้สารที่ประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGA โดยใช้ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ที่ได้จากปฏิกิริยาแสงปรีติวิธสารประกอบคาร์บอน 3 อะตอม ได้เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGAL ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้าง RuBP กลับคืนเป็นวัฏจักร โดยพืช C_3 จะมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวัฏจักรคัลวินเพียงอย่างเดียว ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา : Urry et al. (2020)

พืช C_4 ตรึงคาร์บอนอนินทรีย์ 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดขึ้นที่เซลล์มีโซฟิลล์ โดย PEP และ เอนไซม์เพบคาร์บอกซิเลส ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม คือ OAA ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม คือ กรดมาลิก ซึ่งจะถูกลำเลียงไปจนถึงเซลล์บันเดิลชีทและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในคลอโรพลาสต์เพื่อใช้ในวัฏจักรคัลวินต่อไป ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 การตรึงคาร์บอนอินทรีย์ของพืช C_4

ที่มา : Urry et al. (2020)

พืช CAM (Crassulacean acid metabolism) มีกลไกในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ คล้ายพืช C_4 แต่มีการตรึงคาร์บอนอินทรีย์ทั้ง 2 ครั้งในเซลล์เดียวกัน โดยเซลล์มีการตรึงคาร์บอนอินทรีย์ครั้งแรกในเวลากลางคืน และปล่อยออกมาในเวลากลางวันเพื่อใช้ในวัฏจักรคัลวินต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน ธาตุอาหาร และอายุใบ

1.3 สารสำคัญ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562a) ได้สรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียน เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้ดังนี้

นักวิทยาศาสตร์ในอดีตได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงจนสรุปได้ว่า CO_2 และน้ำเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยพืชจะใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ผลิตภัณฑ์ คือ O_2 และน้ำตาล บริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในเซลล์พืชอยู่ที่คลอโรพลาสต์ โดยในคลอโรพลาสต์มีโครงสร้างสำคัญ คือ ไทลาคอยด์ที่มีสารสีเป็นตัวรับพลังงานแสง และสโตรมาซึ่งมีเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน โดยปฏิกิริยาแสงจะเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของโมเลกุล ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ เพื่อนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ G3P

โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่พืชตรึง O_2 โดยเอนไซม์รูบิสโก ซึ่งจะทำให้พืชสร้างน้ำตาลจากวัฏจักรคัลวินได้ลดลง และมีการใช้ ATP ด้วย โฟโตเรสไพเรชันพบมากในพืช C_3 แต่พืชบางชนิด เช่น พืช C_4 และพืช CAM มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ทำให้โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นได้น้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย โดยพืช C_4 จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งซึ่งการตรึงแต่ละครั้งจะเกิดที่เซลล์ต่างชนิดกัน ส่วนพืช CAM จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งเช่นกัน โดยทั้ง 2 ครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกันแต่เกิดต่างช่วงเวลา

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่อยู่ในระดับสูงสุด เรียกปัจจัยนั้นว่าเป็นปัจจัยจำกัด หากปัจจัยจำกัดนั้นมีปริมาณมากขึ้นจนเพียงพอจะไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป แต่อาจมีปัจจัยอื่นที่กลายเป็นปัจจัยจำกัดที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเมื่อพืชได้รับปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เหมาะสมจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดี

2. มโนคติ

2.1 ความหมายของมโนคติ

มโนคติ (conception) มีผู้ให้คำแปลเป็นภาษาไทยและนิยมใช้แตกต่างกันหลายคำ เช่น มโนทัศน์ มโนภาพ มโนคติ สังกัป แนวความคิดหรือแนวคิดและความคิดรวบยอด ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คำว่า มโนคติ โดยมีผู้ให้ความหมายไว้ดังนี้

ความหมายของมโนคติมีความหมายเช่นเดียวกับแนวความคิด (idea) ความคิด (thought) ข้อคิด (notion) (Winifred, 1973) โดยให้ความหมายไว้ว่า มโนคติ คือ ความคิดที่เป็นแนวทางปฏิบัติหรือสิ่งที่เกิดขึ้นในจิตใจอันก่อให้เกิดการแสวงหาความรู้ต่อไป

Winifred (1973) ให้ความหมายของมโนคติไว้ 3 ลักษณะ ได้แก่

1) ความคิดหรือสัญลักษณ์ของส่วนประกอบหรือลักษณะร่วมที่สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มเป็นพวกได้

2) สัญลักษณ์เชิงความคิดเกี่ยวกับสถานการณ์ กิจกรรมหรือวัตถุ

3) ความรู้สึกนึกคิด ความเห็น ความคิด หรือภาพความความคิด

ส่วนนักการศึกษาได้มีการให้ความหมายไว้ว่า มโนคติ หมายถึง แนวความคิดในการพิจารณาสิ่งต่าง ๆ โดยเชื่อมโยงถึงการมีความสัมพันธ์กันระหว่างบุคคลกับปรากฏการณ์บางอย่าง และแสดงให้เห็นถึงหน่วยความคิดที่ใช้ประโยชน์ได้ เพราะฉะนั้นมโนคติหรือแนวความคิดจึงสามารถสังเกตเห็นได้ เนื่องจากการสะท้อนแนวความคิดของบุคคลออกมา (Johansson, Marton, & Svenson, 1985) หรือเป็นความคิดความเข้าใจของบุคคลที่เป็นข้อสรุป (พิชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552) หรือความคิดรวบยอดของแต่ละบุคคล (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) ที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่ง อันเกิดจากการรวบรวมข้อเท็จจริง สังเกตหรือประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือเรื่องนั้น แล้วใช้คุณลักษณะของสิ่งนั้นมาประมวลเข้าด้วยกันเป็นข้อสรุป เพื่ออธิบายคุณลักษณะของสิ่งนั้นและให้คำจำกัดความของสิ่งนั้น

มโนคติจึงเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความรู้ ลักษณะการจัดระเบียบความรู้ของบุคคลที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ตามธรรมชาติ โดยสามารถอธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผล โดยแนวความคิดเหล่านี้อาจไม่สอดคล้องกับแนวความคิดหรือความรู้ที่คนอื่นยอมรับ เมื่อเกิดขึ้นแล้วยากต่อการเปลี่ยนแปลงและเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ (จินดารัตน์ แก้วพิกุล, 2554)

จากความหมายของมโนคติสรุปได้ว่า มโนคติ หมายถึง ความคิดความเข้าใจของบุคคลที่สรุปรวมเกี่ยวกับปรากฏการณ์ หรือความสัมพันธ์ของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง สามารถมองเห็นหรือสังเกตได้

2.2 มโนคติทางวิทยาศาสตร์

2.2.1 ความหมายของมโนคติทางวิทยาศาสตร์

มโนคติทางวิทยาศาสตร์ (scientific concepts) หมายถึง ความคิด ความเข้าใจที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่ง โดยที่ความเข้าใจดังกล่าวมีความแตกต่างไปตามประสบการณ์ของแต่ละบุคคล (ปริชา วงศ์ชูศิริ, 2527; วีระชาติ สอนไพบรินทร์, 2531)

Klopper (1971) ได้ให้ความหมายมโนคติทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็นสิ่งที่เป็นนามธรรม อันเป็นผลที่ได้จากการศึกษาปรากฏการณ์หรือความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้พบว่ามโนคตินั้นมีประโยชน์ในการศึกษาโลกธรรมชาติ

สุจินต์ วิศวรรานนท์ (2538) ได้ให้ความหมายมโนคติทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็นความรู้ที่เกิดจากความคิดของบุคคลที่มีต่อวัตถุ หรือเหตุการณ์ เกิดจากข้อเท็จจริงและข้อสังเกตของสิ่งที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความคิดสรุปเกี่ยวกับสิ่งนั้น เป็นผลผลิตที่ได้จากการพิจารณาข้อเท็จจริงและประสบการณ์อย่างรอบคอบ

ไพโรจน์ เต็มเตชาติพงศ์ (2550) ได้ให้ความหมายมโนคติทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็น ความคิด ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่งในทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อสรุปซึ่งนักวิทยาศาสตร์ เห็นร่วมกัน

มโนคติทางวิทยาศาสตร์ได้มาจากการศึกษาข้อเท็จจริง ตามหลักการทาง วิทยาศาสตร์และเป็นข้อสรุปที่นักวิทยาศาสตร์เห็นร่วมกัน (สังวาลย์ อติรัตนวงษ์, 2556) ช่วยให้เกิด ประโยชน์ในการคิดและนำไปใช้ในขั้นต่อไป (อิสราพร เภรินทวงศ์, 2557)

จากความหมายของมโนคติทางวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า มโนคติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง แนวความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่ได้มาจากการข้อเท็จจริงตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ เกิดการแยกแยะ การเปรียบเทียบความแตกต่างและหา ความสัมพันธ์ จนเกิดข้อสรุปต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่ง เป็นไปตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์และยอมรับ กันทั่วไปในขณะนั้น

2.2.2 ประเภทของมโนคติทางวิทยาศาสตร์

มโนคติทางวิทยาศาสตร์อาจจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ ในการจำแนกดังนี้

สุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2538) ได้จำแนกโดยใช้ธรรมชาติของมโนคติเป็นเกณฑ์ แบ่ง ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1) มโนคติเกี่ยวกับการจัดแบ่งประเภท เป็นมโนคติที่บ่งถึงคำจำกัดความ คำอธิบายหรือชี้แจงคุณสมบัติร่วมของสิ่งนั้น ๆ
- 2) มโนคติเกี่ยวกับความสัมพันธ์เป็นมโนคติที่บ่งถึงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ หรือสิ่งของทั้งเชิงเปรียบเทียบและเชิงเป็นเหตุเป็นผลต่อกัน ได้แก่ มโนคติที่แสดงว่าเท่ากัน สูงกว่า ต่ำ กว่า ระหว่าง มาก และน้อย
- 3) มโนคติเกี่ยวกับสิ่งที่มองไม่เห็น เป็นมโนคติที่เกิดจากจินตนาการของ นักวิทยาศาสตร์ในการพยายามอธิบายคุณสมบัติของสิ่งบางสิ่งที่ไม่อาจสังเกตได้โดยตรง แต่มีหลักฐาน บางประการสนับสนุนว่าเป็นไปได้

ภพ เลหาไพบูลย์ (2540) ได้แบ่งมโนคติทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- 1) มโนคติที่เป็นกระบวนการ (process concept) เป็นมโนคติที่เกี่ยวกับเทคนิค วิธีการที่ได้มาจากการรวบรวม ทำเป็นสูตรและประมวลผลโดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- 2) มโนคติที่เป็นข้อความรู้ (product concept) คือ การสะสมความรู้ทำให้เกิด ความคิดที่ผิดไปจากธรรมชาติ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่

2.1) มโนคติเกี่ยวกับการแบ่งประเภท (classificational concepts) เป็นแนวคิดที่ชี้แจงคำอธิบายหรือชี้แจงสมบัติ บอกสมบัติรวม โดยนำไปใช้ในการบรรยายวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้น ๆ

2.2) มโนคติทางทฤษฎี (theoretical concepts) เป็นมโนคติที่นักวิทยาศาสตร์พยายามอธิบายลักษณะของบางสิ่งบางอย่าง หรือปรากฏการณ์ที่ไม่อาจสังเกตได้โดยตรงทั้งหมด แต่มีหลักฐานเป็นเหตุเป็นผลสนับสนุนแล้วสร้างเป็นความเข้าใจของตนเอง

2.3) มโนคติเกี่ยวกับความสัมพันธ์ (correlational concepts) เป็นมโนคติที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล นำไปใช้ในการทำนายหรือพยากรณ์เหตุการณ์ต่าง ๆ ได้

สำหรับมโนคติทางวิทยาศาสตร์นั้น เสจียม ช่างเกวียน (2541) ได้จำแนกโดยใช้แหล่งที่มาของประสบการณ์เป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) มโนคติเชิงลักษณะรูปธรรม (primary conception) เป็นมโนคติที่มีตัวอย่างได้โดยตรงและตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องสัมผัส สูดดม มองเห็น ได้ยิน ได้รู้รสชาติจนทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายซึ่งเป็นประสบการณ์ตรง

2) มโนคติลักษณะนามธรรม (secondary conception) เป็นมโนคติที่ไม่สามารถหาตัวอย่างได้โดยตรง ไม่สามารถจับต้องได้ จะต้องใช้ความรู้พื้นฐานประกอบกับสถานการณ์ใหม่ เพื่อสร้างมโนคติใหม่ขึ้น

จากประเภทของมโนคติทางวิทยาศาสตร์ จะเห็นได้ว่ามโนคติทางวิทยาศาสตร์อาจจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก

2.3 มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์

2.3.1 ความหมายของมโนคติที่คลาดเคลื่อน

มโนคติที่คลาดเคลื่อน (alternative conceptions, erroneous idea, naïve knowledge, prescientific conceptions, preconceived notions, conceptual misunderstandings หรือ non - scientific beliefs) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คำว่า มโนคติที่คลาดเคลื่อน (alternative conceptions) โดยมีผู้ให้ความหมายไว้ดังนี้

Hewson (1992) ได้ให้ความหมายมโนคติที่คลาดเคลื่อนว่าเป็นแนวความคิดที่นักเรียนมีอยู่และแตกต่างจากบุคคลทั่วไปยอมรับ ซึ่งอาจเกิดก่อนการได้รับประสบการณ์หรือหลังการได้รับประสบการณ์

Halloun and Hestenes (1985) ได้ให้ความหมายมโนคติที่คลาดเคลื่อนว่าเป็นความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ส่วนตัวเฉพาะบุคคล ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างไปจากทฤษฎีทางด้านวิทยาศาสตร์

Piaget (1971) ได้ให้ความหมายมโนคติที่คลาดเคลื่อนว่าเป็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยความไม่รู้ ซึ่งมีลักษณะความเข้าใจไม่ถูกต้อง และไม่สอดคล้องกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์

วรวจน์ โพธิ์พันธ์ไม้ (2556) ได้ให้ความหมายมโนคติที่คลาดเคลื่อนว่าเป็นความเข้าใจในสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้นขึ้นมาด้วยตนเอง โดยสร้างจากความเชื่อ ประสบการณ์ หรือการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ แต่เป็นสิ่งที่ไม่สมบูรณ์ ไม่สอดคล้องหรือไม่เป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปในขณะนั้น

จากความหมายของมโนคติที่คลาดเคลื่อนสรุปได้ว่า มโนคติที่คลาดเคลื่อนหมายถึง มโนคติหรือความเข้าใจที่เกิดจากความเชื่อหรือประสบการณ์ของแต่ละบุคคลซึ่งแตกต่างหรือไม่สอดคล้องกับมโนคติที่ยอมรับกันในปัจจุบัน

2.3.2 มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์

จากที่กล่าวมาตอนต้นสรุปได้ว่า มโนคติเป็นความคิดของบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งและแตกต่างกันไปตามความรู้และประสบการณ์ของแต่ละคน ซึ่งมีมโนคติเหล่านี้อาจจะมีความหมายแตกต่างไปจากข้อเท็จจริง หลักการที่ผิดไปจากที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ นักการศึกษาเรียกมโนคติที่แตกต่างออกไปนี้ว่า “มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์” (Cho & Nordland, 1985; Griffiths & Preston, 1992; Treagust & Garnett, 1992; Za'Rour, 1975) อาจจะรวมถึงแนวความคิดใหม่ที่ได้จากการเชื่อมโยงมโนคติตั้งแต่ 2 มโนคติขึ้นไปอย่างไม่เหมาะสม จึงนำไปสู่การมีมโนคติที่ผิดพลาด (Wandersee, 1985) โดยกริฟฟิธส์ (Griffiths & Preston, 1992) ระบุว่ามโนคติที่คลาดเคลื่อนนี้ยากต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้ถูกต้องโดยการใช้วิธีการสอนแบบเก่า

จากความหมายที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง มโนคติหรือความเข้าใจต่อข้อเท็จจริงหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างไปจากมโนคติที่นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันนั้นยอมรับ

National Research Council (NRC, 1997) ได้แบ่งประเภทของมโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 5 ประเภท โดยใช้การส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นเกณฑ์ ดังนี้

- 1) อุปาทาน (preconceived notion) เป็นมโนคติที่คลาดเคลื่อนที่พบได้ทั่วไปซึ่งเป็นรากฐานของประสบการณ์ประจำวันของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น คนจำนวนมากเชื่อว่าน้ำได้ดินไหลเป็นธารน้ำเพราะว่าน้ำบนผิวโลกไหลเป็นธารน้ำ อุปาทานส่งผลกระทบต่อมุมมองของผู้เรียนในเรื่องอิทธิพลของความร้อน พลังงาน และแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อสิ่งต่าง ๆ ด้วย

2) ความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ (nonscientific belief) รวมถึงสิ่งที่ผู้เรียนได้เรียนรู้จากแหล่งเรียนรู้อื่นที่ไม่ใช่แหล่งเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสอนทางศาสนาและสิ่งลึกลับ ตัวอย่าง เช่น ผู้เรียนบางคนเรียนรู้ประวัติโดยย่อของโลกและการกำเนิดชีวิตบนโลกจากการสอนศาสนา ความแตกต่างระหว่างความเชื่อดังกล่าวกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ทำให้เกิดข้อขัดแย้งในการสอนวิทยาศาสตร์

3) ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนคติ (conceptual misunderstanding) เกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนได้รับการสอนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในวิถีทางที่ไม่ได้เป็นการกระตุ้นให้พวกเขาเผชิญกับสิ่งผิดปกติและข้อขัดแย้งที่เป็นผลมาจากอุปาทานและความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ การจัดการกับความสับสนดังกล่าว ผู้เรียนจะสร้างแบบจำลองที่ผิด ๆ ซึ่งมักจะไม่มีน้ำหนักและทำให้เกิดความไม่มั่นใจในมโนคตินั้น ๆ

4) มโนคติที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากภาษา (vernacular misconception) เกิดขึ้นจากการใช้คำพูดซึ่งมีความหมายอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวันแต่มีความหมายที่ต่างออกไปจากบริบทของวิทยาศาสตร์ (เช่น คำว่า “งาน”) ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยาให้ข้อสังเกตว่าเป็นเรื่องยากสำหรับผู้เรียนในการจะเข้าใจว่า “ธารน้ำแข็งมีการล่าถอย” เพราะภาพในใจของผู้เรียนจะเห็นว่าธารน้ำแข็งมีการหยุด การหมุน และการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้าม ซึ่งการแทนที่คำว่า “การล่าถอย” ด้วยคำว่า “การหลอมละลาย” ช่วยเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับธารน้ำแข็งได้ขึ้น

5) มโนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับข้อเท็จจริง (factual misconception) เป็นความเข้าใจผิดที่เกิดจากการเรียนรู้ตั้งแต่ในวัยเด็กและไม่ได้รับการแก้ไขจนกระทั่งเติบโตเป็นผู้ใหญ่ เช่น ความเข้าใจที่ว่า “ฟ้าจะไม่แลบซ้ำ 2 ครั้ง” ในบริเวณเดียวกัน ซึ่งเป็นความเข้าใจผิดที่อาจดูไร้สาระแต่ความเข้าใจผิดดังกล่าวอาจฝังรากลึกในความเชื่อของหลายคน

2.3.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดมโนคติที่คลาดเคลื่อน

จากการศึกษาแนวคิดของนักการศึกษาและนักวิจัยหลายท่าน (NRC, 1997; ปีตุงษ์ ทำค้อ, 2557; พินา ชัยจันดี และ วรรณจริย์ มังสิงห์, 2552; ไพโรจน์ เต็มเตชาพงศ์, 2550; มณี-กานต์ หินสอ, 2549) สรุปสาเหตุของการเกิดมโนคติที่คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

1) ภาษาในชีวิตประจำวัน เป็นความเข้าใจที่มาจากการใช้ชีวิตประจำวันก่อนที่ผู้เรียนจะได้รับความรู้ ซึ่งผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้เรื่องนั้นมาก่อนแล้ว ซึ่งเป็นมโนคติที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก

2) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เกิดจากการที่ผู้เรียนได้สร้างมโนคติใหม่ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานหรือมโนคติเดิม ซึ่งมีหลายปัจจัย เช่น รูปแบบหรือเทคนิคการสอนไม่เหมาะสมกับเนื้อหานั้น การใช้สื่อไม่สร้างความสนใจ ไม่สามารถแสดงให้นักเรียนเห็นได้อย่างแท้จริง และหนังสือหรือสื่อที่ใช้อาจจะผิดได้

3) ตัวนักเรียนเอง อันเนื่องมาจากความรู้หรือประสบการณ์เดิมที่ได้รับมา ทำให้การแปลความหมายและสรุปความหมายของเรื่องที่ใกล้เคียงกันคลาดเคลื่อนไปจากความจริง

4) ครูทำให้นักเรียนเข้าใจมโนคติคลาดเคลื่อน เช่น เข้าใจเนื้อหานั้นคลาดเคลื่อนเอง ประสบการณ์การสอนน้อย ไม่มีการเตรียมความพร้อมในการสอน และไม่คำนึงถึงความรู้เดิมของนักเรียนที่มีอยู่ สอนโดยใช้วิธีบอกมโนคติที่ถูกต้องแก่ผู้เรียนโดยไม่ผ่านกระบวนการลงมือปฏิบัติ

ในการสอนเพื่อสร้างและพัฒนาโนคติจะเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจโดยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมเข้ากับความรู้ใหม่หรือประสบการณ์ใหม่ที่นักเรียนได้รับขณะที่เรียนรู้ โดยครูเป็นผู้จัดประสบการณ์ให้นักเรียนได้ฝึกเป็นนักคิดและนักปฏิบัติ จากการตั้งคำถาม ตอบคำถาม แก้ปัญหาต่าง ๆ จากการลงมือปฏิบัติ ซึ่งลักษณะการสอนที่ทำให้นักเรียนเกิดมโนคติที่ถูกต้องและลดมโนคติที่คลาดเคลื่อน ควรมีลักษณะดังนี้ (Bruning, Schraw, & Ronning, 1999; อังคณา ปัทมพงศา, 2555)

1) ครูควรมีการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน ซึ่งจะทำให้ครูเลือกวิธีสอนและอุปกรณ์ที่ใช้สอนได้อย่างเหมาะสม

2) ครูจัดการเรียนรู้ตามความรู้เดิมของนักเรียน โดยเริ่มจากความคิดของนักเรียน และสร้างประสบการณ์ที่เหมาะสมกับความรู้เดิมของนักเรียน

3) ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ทำให้เกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่นักเรียนได้ปฏิบัติ และพัฒนาไปสู่การสร้างมโนคติ

4) ครูควรให้เวลาสำหรับการสร้างและพัฒนาโนคติของนักเรียน ซึ่งการเกิดมโนคตินั้นอาจจะเป็นกระบวนการระยะยาว นักเรียนต้องมีเวลาในการสร้างมโนคติให้เกิดขึ้น ไม่ควรจัดการประเมินผลมโนคติของนักเรียนในทันทีหลังจากจบการเรียนการสอน

5) ให้นักเรียนมีโอกาสพูดโดยอาจใช้การสัมภาษณ์และใช้การถามคำถาม

ทั้งนี้ การสร้างและพัฒนาโนคติควรให้ความสำคัญกับการสร้างความรู้ด้วยตนเองของนักเรียน โดยครูมีบทบาทเป็นผู้จัดประสบการณ์ให้นักเรียนได้ฝึกเป็นนักคิดและนักปฏิบัติ จากการตั้งคำถาม ตอบคำถาม แก้ปัญหาต่าง ๆ จากการลงมือปฏิบัติ ซึ่งการจัดการเรียนรู้รูปแบบ

หนึ่งที่สามารถสร้างและพัฒนาโมเดลของนักเรียนได้ คือ รูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ (experiential learning model) (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทวีปสิริ เสนิงส์ ณ อยุธยา และคนอื่น ๆ, 2564)

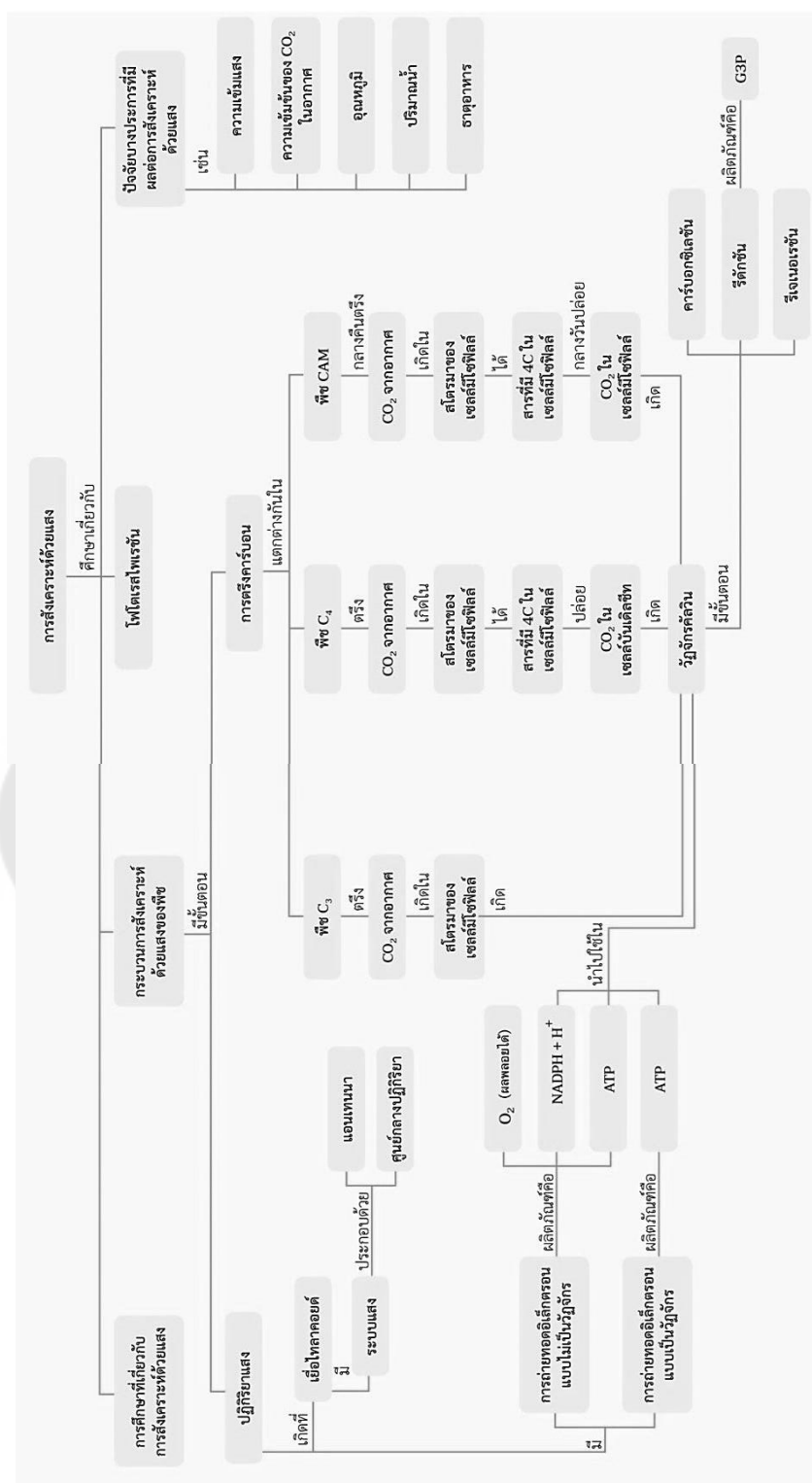
2.4 มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

2.4.1 กรอบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะถูกบรรจุอยู่ในสาระวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม สาระชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) โดยได้มีการกำหนดหัวข้อหลักดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562a, 2562b)

- 1) การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง
- 2) กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
 - 2.1) พลังงานแสง
 - 2.2) สารสี
 - 2.3) ปฏิกริยาแสง
 - 2.4) การตรึงคาร์บอน
- 3) โฟโตเรสไพเรชัน
- 4) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 - 4.1) การตรึงคาร์บอนในพืช C_4
 - 4.2) การตรึงคาร์บอนในพืช CAM
- 5) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 5.1) ปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 5.2) ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562a) ได้เสนอแผนผังมโนคติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูกำหนดกรอบมโนคติและเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ไว้ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แผนผังโมเดลเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562a)

จากกรอบมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบมโนคติเพื่อใช้เป็นขอบเขตของการวิจัย ประกอบด้วย 7 มโนคติ ได้แก่

- 1) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์
- 2) พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง
- 3) ปฏิกิริยาแสง
- 4) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) ไฟโตเรสไพเรชัน
- 6) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 7) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

จะเห็นได้ว่าแต่ละมโนคติมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน คือ เริ่มจากนักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของออร์แกเนลล์ที่สำคัญในเซลล์ที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ คลอโรพลาสต์ รวมไปถึงพลังงานแสงและสารสีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ เมื่อทราบโครงสร้างแล้ว นักเรียนได้ศึกษาว่าพืชมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในโครงสร้างนั้นอย่างไร ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเป็นลำดับขั้นตอน โดยเริ่มจากปฏิกิริยาแสง เป็นขั้นตอนที่มีการสร้างสารสำคัญที่ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างอาหารของพืชต่อไป นอกจากนั้นหากพืชไม่สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ พืชมีการปรับตัวโดยการตรึงออกซิเจนแทน เรียกว่า ไฟโตเรสไพเรชัน โดยพืชแต่ละกลุ่มมีปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 และ CAM แต่พืชทุกกลุ่มจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเหมือนกัน คือ สารจำพวกคาร์โบไฮเดรตและน้ำ ส่วนออกซิเจนเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาแสง และสุดท้ายนักเรียนได้ศึกษาว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

2.4.2 มโนคติทางวิทยาศาสตร์และมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

จากการศึกษาและกำหนดกรอบเนื้อหาประกอบด้วยมโนคติ 7 มโนคติ ดังกล่าวตอนต้น จากประสบการณ์ของผู้วิจัย และมีนักวิจัยวิทยาศาสตร์และนักการศึกษาได้สำรวจมโนคติทางวิทยาศาสตร์และมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สรุปได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 มโนมติทางวิทยาศาสตร์และมโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
1. โครงสร้างของคลอโรพลาสต์	คลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) และเยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) สารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดจะอยู่บนเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาแสงและภายในคลอโรพลาสต์มีของเหลวเรียกว่า สโตรมา (stroma) มีเอนไซม์จำนวนมาก จึงเป็นบริเวณที่เกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	- คลอโรพลาสต์อยู่ในคลอโรพิลล์ (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) - คลอโรพิลล์ที่อยู่บนเยื่อของคลอโรพลาสต์ทำหน้าที่ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Kijkuakul, 2006) - คลอโรพิลล์เป็นออร์แกเนลล์ที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในคลอโรพิลล์ (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)
2. พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง	พืชนำพลังงานแสงในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะในช่วงแสงสีน้ำเงินและสีแดง ซึ่งใช้สารสี (pigment) เป็นตัวรับพลังงานแสง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้มีสารสีชนิดต่างๆ ที่ช่วยในการดูดกลืนแสง โดยสารสีต่างกันจะดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นต่างกัน ส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในทุกความยาวคลื่น สารสีที่สำคัญที่สุด คือ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) เนื่องจากทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยา (reaction center) และมีสารสีอื่นที่ช่วยในการดูดกลืนพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปยังศูนย์กลางของปฏิกิริยา	- คลอโรพิลล์เป็นสารสีชนิดหนึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสง พอโดนแสงแล้วจะเปลี่ยนตัวเองไปเป็นอาหาร (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) - พืชที่มีสารสีอื่นที่ไม่ใช่คลอโรฟิลล์ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ (สิริรัตน์ สุขที่มะ, 2543) - พืชใช้พลังงานแสงทุกช่วงความยาวคลื่นในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เท่ากัน (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย) - พลังงานแสงสร้างอาหารโดยตรงหรือพลังงานแสงเปลี่ยนเป็นอาหาร (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
3. ปฏิกริยาแสง	ปฏิกริยาแสง (light-dependent reaction) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดขึ้นที่เยื่อไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ในขณะที่ได้รับพลังงานแสง ปฏิกริยาแสงมีกลุ่มของสารสีเข้าร่วมในปฏิกริยา 2 พวก ได้แก่ ระบบแสง I (photosystem I: PSI) และระบบแสง II (photosystem II: PSII) ที่จะทำหน้าที่ดูดกลืนแสงและถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอน เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงให้มาอยู่ในรูปของพลังงานเคมี ปฏิกริยาแสงมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer) โดยน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดยแสงให้อิเล็กตรอน โปรตอนและออกซิเจน อิเล็กตรอนถูกส่งต่อไปยัง PSII ซึ่งจะมีโปรตีนมารับอิเล็กตรอนและส่งต่อไปยัง PSI ตามลำดับ และมี NADP^+ มารับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้เป็น $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ส่วนโปรตอนในลูเมนจะแพร่กลับเข้ามาในสโตรมาผ่านเอนไซม์ ATP synthase กระตุ้นให้เอนไซม์นี้สร้าง ATP ขึ้น ส่วนออกซิเจนจะถูกนำมาใช้ในการหายใจในเซลล์ ซึ่งเมื่อมีมากเกินไปความต้องการของเซลล์จะถูกนำออกจากใบสู่บรรยากาศผ่านทางปากใบ (stoma)	- นอกจากแสงอาทิตย์แล้ว พืชยังได้รับพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น ๆ อีก เช่น ดิน น้ำ แร่ธาตุ และคาร์บอนไดออกไซด์ (สิรินภา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุตาคม, 2547) - น้ำแตกตัวได้ H_2 และ O_2 แล้ว H_2 จะไปรวมกับ CO_2 เป็น $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ส่วน O_2 ปล่อยออกสู่บรรยากาศ (สิรินภา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุตาคม, 2547) - H_2O และ ATP ให้พลังงานสำหรับนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Kijkuakul, 2006) - พืชไม่ต้องการ H_2O แต่พืชใช้แสงเป็นวัตถุดิบ (Kijkuakul, 2006) - พืชได้รับน้ำผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) - เมื่อได้รับแสงอิเล็กตรอนของสารสีที่อยู่ในแอนเทนนาจะหลุดออกแล้วถ่ายทอดไปยังศูนย์กลางปฏิกริยา (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
4. ปฏิกริยา การตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออก- ไซด์	ปฏิกริยาการตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) เป็นกระบวนการที่พืชนำพลังงานเคมีที่ได้จากปฏิกริยาแสงในรูปของ ATP และ NADPH มาใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ โดยพืช C_3 เกิดปฏิกริยาจาก Ribulose-1,5-bisphosphate หรือ RuBP รวมกับ CO_2 ทำให้เกิดเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (3-phosphoglyceric acid: 3-PGA) 2 โมเลกุล เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน สารบางโมเลกุลถูกนำมาสร้างสารอินทรีย์ และบางโมเลกุลเปลี่ยนแปลงย้อนกลับเป็น RuBP เพื่อกลับไปตรึง CO_2 อีกครั้ง เรียกว่า วัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) สารตัวแรกที่ได้จากการตรึง CO_2 เป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จึงเรียกพืชที่มีกระบวนการนี้ว่า พืช C_3 เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวเหนียว ซึ่งพบในเขตอบอุ่น โครงสร้างของใบพืช C_3 ที่สำคัญประกอบไปด้วยมีโซฟิลล์ (mesophyll) โดยมีกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงแทรกอยู่ อาจจะมีหรือไม่มีกลุ่มเซลล์บันเดิลชีท (bundle sheath cell) ล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียงก็ได้ แต่ถ้ามีมักไม่พบคลอโรพลาสต์เมื่อดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	- พืชทุกชนิดน่าจะมีการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกัน (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) - พืช C_3 ที่มีคลอโรพลาสต์ในมีโซฟิลล์อย่างเดียว จึงตรึงแก๊ส CO_2 ได้น้อยกว่าพืช C_4 ที่มีคลอโรพลาสต์ทั้งในมีโซฟิลล์และบันเดิลชีท (Kijkuakul, 2006) - CO_2 ให้พลังงานสำหรับนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชไม่ต้องการ CO_2 แต่พืชใช้แสงเป็นวัตถุดิบ และพืชได้รับ CO_2 จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Kijkuakul, 2006) - CO_2 แตกตัวในวัฏจักรคัลวินแล้วให้ O_2 ปลอยสู่บรรยากาศ (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย) - การเกิดวัฏจักรคัลวิน 1 รอบที่สมบูรณ์ทั้ง 3 ขั้นตอน ต้องใช้ CO_2 และ RuBP จำนวนอย่างละ 1 โมเลกุล (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
5. โฟโตเรส- ไพเรชั่น	โฟโตเรสไพเรชั่นเกิดขึ้นที่สโตรมาใน ขั้นตอนการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเมื่อมีแก๊สออกซิเจนสูง ในสภาวะที่มี แสงทำให้พืชปิดปากใบเพื่อลดการ สูญเสียน้ำ ส่งผลให้พืชขาดแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้การตรึง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชหลาย ชนิดลดลง โดยแก๊สออกซิเจนรวมตัวกับ RuBP แทนที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นสารที่จะนำไปใช้ในการสร้าง น้ำตาลได้น้อย และมีการปล่อยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ แต่โฟโตเรสไพเรชั่น มีประโยชน์กรณีพืชสร้าง ATP มาก เกินไปจะทำให้ใช้หมดไป แตกต่างจาก กระบวนการหายใจ ซึ่งการหายใจเป็น การสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน เป็นกระบวนการสร้าง ATP	- โฟโตเรสไพเรชั่นเกิดขึ้นเฉพาะ ตอนกลางวัน (สิรินภา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุตาคม, 2547) - พืชสามารถตรึงแก๊สออกซิเจนได้ ในตอนกลางคืน เนื่องจาก ตอนกลางคืนไม่มีแสงแดดและไม่ ส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเป็นปกติ อยู่แล้วในเวลากลางคืน (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) - เอนไซม์รูบิสโก (RuBisCO) ไม่เกี่ยวข้องกับโฟโตเรสไพเรชั่น (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย) - โฟโตเรสไพเรชั่นมีการสร้าง ATP เหมือนกับการหายใจเพื่อสลาย สารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)
6. การเพิ่มความ เข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออก- ไซด์	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_4 นั้นเกิด จากโครงสร้างของใบที่ต่างจากพืช C_3 โดยเซลล์ชั้นบันเดิลชีทที่อยู่รอบท่อ ลำเลียงและเชื่อมติดกับชั้นมีโซฟิลล์ ภายในมีคลอโรพลาสต์อยู่ทำให้ การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดที่มีโซฟิลล์ ได้เป็น สารประกอบเสถียรชนิดแรกที่มี คาร์บอน 4 อะตอม คือ	- พืชทุกชนิดน่าจะมีการตรึง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เหมือนกัน (อังคณา ปัทมพงศา, 2555) - พืช C_4 มีคลอโรพลาสต์ทั้งใน มีโซฟิลล์และบันเดิลชีท จึงตรึง แก๊ส CO_2 ได้มากกว่าพืช C_3 ที่มี คลอโรพลาสต์ในมีโซฟิลล์อย่าง เดียว (Kijkuakul, 2006)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
6. การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ต่อ)	กรดออกซาโลแอซิดิก (oxaloacetic acid: OAA) ครั้งที่ 2 เกิดขึ้นที่เซลล์บันเดิลชีท ถูกตรึงโดย RuBP ในวัฏจักรคัลวิน จึงเรียกพืชที่มีกระบวนการนี้ว่าพืช C₄ เช่น ข้าวโพด หนุ่ย ข้าวฟ่าง ส่วนใหญ่เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน โครงสร้างของใบพืช C₄ ที่สำคัญประกอบไปด้วยเซลล์บันเดิลชีทที่มีขนาดใหญ่และภายในมีคลอโรพลาสต์ ส่วนพืชซีเอเอ็ม (Crassulacean acid metabolism: CAM) เป็นพืชที่ทนแล้งและมีลักษณะอวบน้ำ ปากใบจะปิดเวลากลางวันและเปิดเวลา กลางคืน มีกลไกการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คล้ายกับพืช C₄ เพียงแต่กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเกิดภายในเซลล์เดียวกันคือ เซลล์มีโซฟิลล์ ครั้งแรกการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเวลากลางคืน โดย PEP ได้สารประกอบตัวแรกคือ OAA แล้วเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก (malic acid) เก็บไว้ในแวคิวโอล (vacuole) ครั้งที่ 2 เกิดเวลากลางวัน โดย RuBP ในวัฏจักรคัลวิน จึงเรียกพืชที่มีกระบวนการนี้ว่า พืช CAM เช่น กระบองเพชร ว่านหางจระเข้ สับปะรด ส่วนใหญ่เป็นพืชที่พบในที่แห้งแล้ง	- พืช CAM คือพืชที่พบอยู่ในทะเลทรายเท่านั้น (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) - พืช C₃ มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุด เนื่องจากตรึงแก๊ส CO₂ เพียงครั้งเดียว (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย) - พืช CAM มีการสร้างน้ำตาลในตอนกลางคืน เนื่องจากปากใบเปิดแล้วมีการตรึงแก๊ส CO₂ ครั้งแรกในตอนกลางคืน (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนมติที่	มโนมติทางวิทยาศาสตร์	มโนมติที่คลาดเคลื่อน
7. ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	แสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะความเข้มแสง โดยพืชจะมี light compensation point คือ ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มแสง (light saturation point) คือ จุดที่เพิ่มความเข้มแสงแล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น พืช C_3 มีจุดทั้งสองต่ำกว่าพืช C_4 แต่ถ้าวัดความเข้มแสงมาก ๆ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในพืชทั้งสองชนิด ส่วนพืชในที่ร่มใช้แสงปริมาณน้อยก็เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงมี light compensation point ต่ำกว่าพืชในที่แจ้ง ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลเช่นเดียวกับความเข้มแสง พืชมี CO_2 compensation point คือ ความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 saturation point) คือ จุดที่เพิ่มความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง นักเรียนมากกว่าร้อยละ 90 เข้าใจว่าแสงและจำนวนของใบมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีนักเรียนถึงร้อยละ 70 ที่เข้าใจว่า ความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เหตุผลส่วนใหญ่ที่นักเรียนใช้อธิบายถึงปัจจัยเหล่านี้ก็คือ "... เพราะปัจจัยนี้เป็นสิ่งที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง" (สิรินภา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุติาคม, 2547) - เมื่อเพิ่มปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ความเข้มแสง CO_2 หรือ อุณหภูมิ ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นโดยไม่จำกัด (จากประสบการณ์ของผู้วิจัย)

ตาราง 1 (ต่อ)

มโนคติที่	มโนคติทางวิทยาศาสตร์	มโนคติที่คลาดเคลื่อน
7. ปัจจัยบาง ประการ ที่มีผลต่อการ สังเคราะห์ด้วย แสง (ต่อ)	แล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ เพิ่มขึ้น โดยพืช C_4 มีจุดทั้งสองต่ำกว่า พืช C_3 นอกจากนี้อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเมื่อพืชได้รับปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ อย่างเหมาะสมจะส่งผลให้มีการ เจริญเติบโตได้ดี	

2.5 การจัดกลุ่มมโนคติ

การจัดประเภทมโนคติทางวิทยาศาสตร์ มีผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษา มโนคติและ
จัดจำแนกมโนคติออกเป็นหลายประเภท ได้แก่

1) การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งได้มีนักการศึกษาหลาย ๆ ท่าน
(Brickhouse, Zoubieda, Letts, & Shipman, 2000; Marek, Eubanks, & Gallaher, 1990; ชาตรี
สำราญ, 2544) ได้จัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 4 กลุ่มและให้ความหมายไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มโนคติถูกต้อง (sound understanding: SU) หมายถึง คำตอบแสดงถึง
ว่าเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 มโนคติถูกต้องบางส่วน (partial understanding: PU) หมายถึง คำตอบ
แสดงถึงว่าเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แต่ยังไม่สมบูรณ์

กลุ่มที่ 3 มโนคติคลาดเคลื่อน (alternative conceptions: AC) หมายถึง มีคำตอบ
ที่แสดงถึงว่าเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ถูกต้องบางส่วน และมีบางส่วนที่ไม่ถูกต้องตามมโนคติ
ทางวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ 4 มโนคติไม่ถูกต้อง (misunderstanding: MU) หมายถึง คำตอบแสดงถึง
ความไม่เข้าใจมโนคตินั้น ๆ

2) การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งได้มีนักการศึกษาหลาย ๆ ท่าน (Abraham et al., 1994; Simpson & Marek, 1988; Westbrook & Marek, 1992) ได้จัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 5 กลุ่ม และให้ความหมายไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มโนคติที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU หรือ sound understanding: SU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้องสอดคล้องและตรงตามทฤษฎีของนักวิทยาศาสตร์ทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 มโนคติที่เข้าใจบางส่วน (partial understanding: PU หรือ Partial understanding: PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนมีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดสมบูรณ์ แต่ไม่มีคำตอบที่แสดงแนวคิดที่คลาดเคลื่อน

กลุ่มที่ 3 มโนคติที่มีความเข้าใจบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding and with specific misconception: PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนส่วนหนึ่งมีแนวคิดที่สอดคล้องกับแนวคิดสมบูรณ์อยู่ แต่มีแนวคิดอีกส่วนหนึ่งที่คลาดเคลื่อนปรากฏอยู่ในคำตอบของนักเรียน

กลุ่มที่ 4 มโนคติคลาดเคลื่อน (specific misconception: SM หรือ complete misunderstanding: CM) หมายถึง คำตอบของนักเรียนเป็นแนวคิดที่ไม่ถูกต้องทั้งหมด แสดงความไม่เป็นเหตุเป็นผลกัน รวมทั้งไม่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

กลุ่มที่ 5 ไม่มีเข้าใจมโนคติ (no understand: NU หรือ without answer: WA) หมายถึง นักเรียนไม่ตอบคำถาม ทวนคำถามหรือตอบว่าไม่รู้

3) การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 6 กลุ่ม ซึ่ง (Abraham, Grzybowski, Renner, & Marek, 1992) จะแยกกลุ่มที่ไม่มีมโนคติ ที่ตอบไม่รู้ ไม่มีคำตอบ ออกจากกลุ่มที่ไม่เข้าใจ โดยตอบทวนคำถามหรือตอบในเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มโนคติที่ถูกต้อง หมายถึง คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 มโนคติที่ถูกต้องบางส่วน หมายถึง คำตอบที่อย่างน้อยหนึ่งองค์ประกอบที่เป็นไปตามมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ไม่กล่าวถึง

กลุ่มที่ 3 มโนคติที่ถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อน หมายถึง คำตอบที่มีบางองค์ประกอบมีมโนคติที่ถูกต้องตามมโนคติทางวิทยาศาสตร์และบางองค์ประกอบที่มีมโนคติไม่ถูกต้องตามมโนคติทางวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ 4 มโนคติคลาดเคลื่อน หมายถึง คำตอบที่อธิบายเกี่ยวกับเรื่องที่ถาม แต่ไม่ถูกต้องตามมโนคติทางวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ 5 ไม่มีมโนคติ หมายถึง พุทธวนคำถามหรือไม่อธิบายเกี่ยวข้องกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่ถาม

กลุ่มที่ 6 ไม่มีคำตอบ หมายถึง ตอบว่าไม่ทราบ

จากการจัดประเภทมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยเลือกใช้เกณฑ์การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 5 ระดับ ตามแนวคิดของ Abraham et al. (1994) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มโนคติในระดับที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้อง และการให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละมโนคติ

กลุ่มที่ 2 มโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding: PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้อง และการให้เหตุผลถูกต้องขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน

กลุ่มที่ 3 มโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific alternative conception: PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้องบางส่วน แต่บางส่วนแสดง ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเลือกคำตอบถูกต้องแต่ไม่อธิบายคำตอบ

กลุ่มที่ 4 มโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (alternative conception: AC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด

กลุ่มที่ 5 ความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (no understanding: NU หรือ no conception: NC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม

โดยแตกต่างจากการจัดกลุ่มมโนคติแบบ 4 กลุ่ม ที่มีการเพิ่มกลุ่มความไม่เข้าใจ หรือไม่มีมโนคติ ผู้วิจัยคิดว่าการที่นักเรียนไม่ตอบคำถามหรือตอบว่าไม่ทราบนั้นหมายความว่า นักเรียนไม่มีมโนคติหรือไม่เข้าใจในเรื่องที่ถาม และที่ไม่ใช้เกณฑ์การจัดกลุ่มมโนคติเป็น 6 ระดับ เพราะการตอบว่าไม่ทราบในทรรศนะของผู้วิจัยและนักวิจัยท่านอื่น (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) คือ นักเรียนไม่มีมโนคติในเรื่องนั้น จึงตอบว่าไม่ทราบ

2.6 วิธีและเครื่องมือวัดมโนคติ

ในการเรียนวิทยาศาสตร์นั้น มโนคติทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะในการสร้างองค์ความรู้ ผู้เรียนจะต้องมีมโนคติที่ถูกต้องเสียก่อน การที่จะทราบว่าผู้เรียนมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร ถูกต้องหรือไม่ สามารถทำได้โดยการวัดมโนคติ (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) ซึ่งเครื่องมือที่วัดมโนคติแต่ละรูปแบบได้รับการพัฒนาและใช้โดยนักวิจัยเพื่อบ่งชี้มโนคติของผู้เรียน โดยทั่วไปเครื่องมือดังกล่าวมักเป็นแบบทดสอบวินิจฉัย (diagnostic test) ที่สร้างได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ (interview form) แบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิด (open-ended test) แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ (ordinary multiple choice test) แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ (two-tier multiple choice test) แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ (three-tier multiple choice test) และแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ระดับ (four-tier multiple choice test) (Gurel, 2015) ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนั้น ผู้นำเครื่องมือเหล่านี้ไปใช้ต้องตระหนักถึงข้อดีและข้อเสียดังกล่าวเพื่อที่จะได้นำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560) ลักษณะ ข้อดีและข้อเสียของแบบทดสอบวินิจฉัยมโนคติแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 แบบสัมภาษณ์มโนคติ

การสัมภาษณ์เกี่ยวกับมโนคติเป็นการสัมภาษณ์เพื่อตรวจสอบความรู้ที่ผู้เรียนมีเกี่ยวกับมโนคติของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งผู้สัมภาษณ์บางคนอาจจำกัดความรู้แค่ข้อเท็จจริงหรืออาจจะสัมภาษณ์เกี่ยวกับความเชื่อ ความคิดเห็น ภาพในใจ ความทรงจำกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับตนเอง หรือแม้แต่ทักษะความคิด และทักษะทางด้านการปฏิบัติ (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) โดยการสัมภาษณ์มักเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการเก็บข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับมโนคติของผู้เรียน แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่ต้องใช้ในการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถอ้างอิงไปยังกลุ่มประชากรได้ ดังนั้นผู้วิจัยจำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนอย่างดีในการดำเนินการสัมภาษณ์ เพราะการเก็บข้อมูลต้องให้ความสำคัญกับการหลีกเลี่ยงอคติหรือความเอนเอียงในการถามคำถามหรือการตีความคำตอบจากผู้ให้สัมภาษณ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ก็เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องการความละเอียดรอบคอบ เพื่อให้สามารถสรุปข้อมูลได้อย่างแม่นยำและเป็นประโยชน์ในการวิจัยต่อไป (Adadan & Savasci, 2012; Rollnick & Mahooana, 1999; Sadler, 1998; Tongchai, Sharma, Johnston, Arayathanikul, & Soankwan, 2009; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560)

2.6.2 แบบทดสอบวัดมโนคติ

แบบทดสอบวัดมโนคติ (conceptual test) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้วัดมโนคติของผู้เรียนว่ามีมโนคติอย่างไรในเรื่องที่จัดการเรียนรู้ โดยแบบวัดมโนคติสามารถสร้างได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งแบบทดสอบถูกผิด (true-false test) แบบทดสอบให้เขียนตอบสั้น (short answer) แบบทดสอบชนิดเขียนตอบ แบบทดสอบชนิดเลือกตอบหรือแบบทดสอบปรนัย และแบบทดสอบวินิจฉัย (conceptual diagnostic test) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2552; สิริมา มิ่งเมือง, 2560)

1) แบบทดสอบชนิดถูกผิด

แบบทดสอบชนิดถูกผิดมีจุดประสงค์เพื่อวัดมโนคติที่เกี่ยวข้องกับข้อเท็จจริง ผู้ตอบจะต้องมีความสามารถในการจำแนกข้อคำถามออกให้ได้ว่าเป็นข้อความที่ถูกหรือผิดแบบทดสอบแบบนี้สามารถพัฒนาได้ง่ายและรวดเร็ว แต่นักเรียนสามารถคาดเดาคำตอบได้ง่าย โดยไม่ต้องอ่านโจทย์ วิธีการในการลดผลของการเดาคือ เพิ่มช่องว่างให้นักเรียนแก้ไขข้อที่ผิดให้ถูกต้อง

2) แบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิด

แบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิดได้รับความนิยมในการตรวจสอบมโนคติของผู้เรียนในวิชาวิทยาศาสตร์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถสร้างได้ง่ายเพียงแคมีข้อคำถามและสามารถใช้เวลาไม่นานในการจัดทำ นอกจากนี้ผู้ที่ไม่มีประสบการณ์หรือไม่ชำนาญในการออกแบบแบบสอบถามก็สามารถสร้างแบบทดสอบที่มีคุณภาพได้ (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560) โดยแบบสอบถามนี้ให้ผู้เรียนมีอิสระในการตอบคำถามตามแนวคิดหรือความคิดเห็นของตนเอง ซึ่งมักจะให้คำตอบที่สะท้อนความรู้และความเข้าใจของผู้เรียนได้ดีกว่าแบบสอบถามที่มีคำตอบแบบปิด โดยการตอบแบบปลายเปิดยังช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลที่ละเอียดและลึกซึ้งเกี่ยวกับมโนคติของผู้เรียนได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการสำรวจความคิดเห็นหรือทัศนคติของผู้เรียนในเรื่องที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การใช้แบบสอบถามชนิดนี้ก็มีข้อจำกัด เช่น ต้องใช้เวลานานในการคิดและเขียนคำตอบ นอกจากนี้การวิเคราะห์ข้อมูลจากคำตอบที่ได้รับก็อาจเป็นเรื่องท้าทาย เนื่องจากบางครั้งผู้เรียนอาจขาดความกระตือรือร้นในการตอบคำถามให้ครบถ้วนสมบูรณ์หรือให้คำตอบที่ชัดเจน ส่งผลให้การตีความข้อมูลที่ได้อาจทำได้ยาก (Al-Rubayea, 1996)

3) แบบทดสอบชนิดเลือกตอบ

แบบทดสอบชนิดเลือกตอบเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการสำรวจมโนคติของนักเรียน โดยสามารถพัฒนาต่อยอดจากแบบสัมภาษณ์หรือคำถามปลายเปิด เพื่อให้ได้ตัวเลือกที่ใกล้เคียงกับคำตอบของนักเรียนมากที่สุด แบบทดสอบนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อลดข้อจำกัดของแบบ

สัมภาษณ์และแบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิด โดยเฉพาะในเรื่องของการตรวจและการให้คะแนน ซึ่งช่วยให้การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแบบทดสอบชนิดเลือกตอบมีความแตกต่างจากแบบทดสอบประเภทอื่น เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือสามารถวัดความคิดของนักเรียนในระดับการคิดวิเคราะห์ การสังเคราะห์ หรือการประเมินผล ซึ่งสามารถบ่งชี้มโนคติของผู้เรียนได้อย่างลึกซึ้งและครบถ้วน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวัดมโนคติได้อย่างกว้างขวางและครอบคลุมเนื้อหาหรือทักษะที่จำเป็นสำหรับนักเรียน ทำให้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความแม่นยำในการวิเคราะห์มโนคติที่เกิดขึ้นจากคำตอบของผู้เรียน (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560; สิริมา มิ่งเมือง, 2560)

4) แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับชั้น หรือแบบทดสอบวินิจฉัยชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ

แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับชั้นได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ โดยมีจุดประสงค์ในการตรวจสอบมโนคติของนักเรียนและสามารถระบุได้ว่า นักเรียนมีมโนคติในลักษณะใด เช่น มโนคติที่ถูกต้อง มโนคติที่ไม่สมบูรณ์ มโนคติที่คลาดเคลื่อน หรือไม่มีมโนคติ (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) ลักษณะของแบบทดสอบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นข้อสอบแบบหลายตัวเลือก ซึ่งจะช่วยในการคัดเลือกคำตอบที่เหมาะสมจากตัวเลือกที่ให้มา ส่วนที่สองเป็นข้อสอบอัตนัย ซึ่งผู้เรียนต้องอธิบายเหตุผลในการเลือกตอบส่วนแรก โดยการให้คะแนนในแบบทดสอบนี้จะคำนึงถึงทั้งคำตอบที่ถูกต้องและเหตุผลที่นักเรียนให้มา ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า นักเรียนมีมโนคติที่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนในเรื่องใด โดยการออกแบบตัวเลือกและตัวลงในข้อสอบจะมาจากการศึกษาโมโนคติที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากเอกสาร การสัมภาษณ์ และการให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบชนิดเขียนตอบ เพื่อศึกษาว่านักเรียนมีมโนคติในเรื่องนั้น ๆ อย่างไร และมโนคติที่ผิดพลาดเหล่านี้จะถูกนำมาสร้างเป็นตัวลงในข้อสอบ ซึ่งจะช่วยให้การจำแนกลักษณะของมโนคติที่ผู้เรียนมีนั้นมีความแม่นยำยิ่งขึ้น และเนื่องจากผู้เรียนอาจมีเหตุผลอื่น ๆ จึงมีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเพิ่มบรรทัดว่างไว้ให้ผู้เรียนตอบโดยเติมเหตุผลอื่น ๆ ช่วยให้การตอบของผู้เรียนนั้นง่ายขึ้น ซึ่งการให้เหตุผลประกอบคำตอบยังเป็นวิธีการที่ช่วยลดการเดาคำตอบของผู้เรียน โดยทั้งคำตอบและเหตุผลต้องสอดคล้องกัน ผู้เรียนจึงจะได้คะแนนเต็ม อย่างไรก็ตามแบบทดสอบชนิดนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการจำแนกว่าการที่ผู้เรียนตอบผิดนั้นเกิดจากมโนคติที่คลาดเคลื่อน หรือเพราะผู้เรียนไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ ซึ่งอาจทำให้การวิเคราะห์มโนคติของผู้เรียนมีความยากลำบากบ้างในบางกรณี (Aydin, 2007; Eryılmaz, 2010; Kaltakçı, 2012; Lim & Poo, 2021; Peşman & Eryılmaz, 2010; Türker, 2005; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560)

5) แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสามลำดับชั้น หรือแบบทดสอบวินิจฉัยชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ

แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสามลำดับชั้นได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับชั้น โดยการเพิ่มส่วนที่ 3 ซึ่งเป็นการให้ผู้เรียนเลือกว่ามั่นใจหรือไม่มั่นใจในคำตอบที่เลือกในส่วนที่ 1 (ตัวเลือกที่เป็นคำตอบและตัวลวง) และในส่วนที่ 2 (เหตุผลของคำตอบที่เลือกในส่วนที่ 1) ในกรณีนี้ผู้ตอบจะได้คะแนนก็ต่อเมื่อทั้งคำตอบในส่วนที่ 1 และเหตุผลในส่วนที่ 2 ถูกต้องด้วยความมั่นใจ สำหรับผู้ตอบที่ตอบผิดทั้งส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 อย่างมั่นใจ แสดงว่ามีมโนคติที่คลาดเคลื่อน แต่ถึงอย่างไรระดับความมั่นใจในส่วนที่ 3 นี้ ก็ไม่ได้บอกว่าผู้ตอบมั่นใจในคำตอบส่วนที่ 1 หรือ 2 ดังนั้นแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสามลำดับชั้นนี้ก็ยังไม่สามารถจำแนกว่าการที่ผู้เรียนตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีมโนคติที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิดเพราะไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ (Aydin, 2007; Eryilmaz, 2010; Kaltakçı, 2012; Lim & Poo, 2021; Peşman & Eryilmaz, 2010; Türker, 2005; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560)

6) แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสี่ลำดับชั้น หรือแบบทดสอบวินิจฉัยชนิดเลือกตอบ 4 ระดับ

แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสี่ลำดับชั้นได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสามลำดับชั้น โดยการเพิ่มระดับความมั่นใจของการตอบต่อจากคำตอบส่วนที่ 1 ทำให้โครงสร้างของข้อสอบในส่วนของคำตอบมี 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นตัวเลือกของคำตอบและตัวลวง ส่วนที่ 2 เป็นระดับความมั่นใจของส่วนที่ 1 ส่วนที่ 3 เป็นเหตุผลที่ใช้ในการตอบส่วนที่ 1 และส่วนที่ 4 เป็นระดับความมั่นใจของส่วนที่ 3 ผู้ตอบที่ตอบถูกทั้งส่วนที่ 1 และ 3 ด้วยความมั่นใจ (ส่วนที่ 2 และ 4) จะได้คะแนนในข้อนั้น ส่วนผู้ที่ตอบผิดทั้งส่วนที่ 1 และ 3 ด้วยความมั่นใจ (ส่วนที่ 2 และ 4) จะวินิจฉัยได้ว่ามีมโนคติที่คลาดเคลื่อนในข้อนั้น สำหรับคำตอบอื่นที่นอกเหนือจากนี้จะวินิจฉัยได้ว่าไม่มีความรู้ในข้อนั้น ๆ หรือหากตอบแล้วขัดแย้งกัน จะวินิจฉัยว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นในข้อนั้น (Caleon & Subramaniam, 2010; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560)

จากลักษณะของแบบสัมภาษณ์และแบบทดสอบวัดมโนคติแต่ละรูปแบบสามารถบอกถึงมโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ เนื่องจากช่วยทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ต้องการให้ผู้เรียนรู้หรือเรียนรู้กับสิ่งที่พวกเขารู้หรือเรียนรู้จริง ๆ ผู้วิจัยได้นำข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้วัดมโนคติแต่ละรูปแบบมาเปรียบเทียบ และสรุปได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้วัดมโนคติแต่ละรูปแบบ

ประเด็น เปรียบเทียบ	รูปแบบของเครื่องมือที่ใช้วัดมโนคติ					
	แบบ สัมภาษณ์	แบบเขียน ตอบ	แบบ เลือกตอบ	แบบ ตัวเลือก 2 ลำดับ ชั้น	แบบ ตัวเลือก 3 ลำดับ ชั้น	แบบ ตัวเลือก 4 ลำดับ ชั้น
1. การสร้าง แบบสอบถาม	สร้างได้ง่าย	สร้างได้ง่าย	สร้างให้มี คุณภาพได้ ยาก	สร้างให้มี คุณภาพได้ ยาก	สร้างให้มี คุณภาพได้ ยาก	สร้างให้มี คุณภาพได้ ยาก
2. ข้อมูลที่ได้	ข้อมูลเชิงลึก	ข้อมูลที่เป็น แนวคิดของ ผู้ตอบ	ข้อมูลเชิง วินิจัย มโนคติที่ หลากหลาย	ข้อมูลเชิง วินิจัย มโนคติที่ หลากหลาย	ข้อมูลเชิง วินิจัย มโนคติที่ หลากหลาย	ข้อมูลเชิง วินิจัย มโนคติที่ หลากหลาย
3. ความ ครอบคลุม ของข้อมูล	ไม่ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น	ไม่ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น	ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น	ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น	ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น	ครอบคลุม มโนคติที่ จำเป็น
4. การเดา คำตอบ	ไม่มีโอกาส เดาคำตอบ	ไม่มีโอกาส เดาคำตอบ	ง่ายต่อการเดา คำตอบ	มีโอกาส เดาคำตอบ	มีโอกาส เดาคำตอบ	มีโอกาส เดาคำตอบ
5. การตรวจให้ คะแนน	ตรวจยาก เนื่องจากมี อคติเข้ามา เกี่ยวข้อง	ตรวจยาก (มีความเป็น อัตนัย)	ตรวจง่าย (มีความเป็น ปรนัย)	ตรวจง่าย (มีความเป็น ปรนัย)	ตรวจง่าย (มีความเป็น ปรนัย)	ตรวจง่าย (มีความเป็น ปรนัย)
6. การวิเคราะห์ ข้อมูล	ค่อนข้าง ยุ่งยาก	ค่อนข้าง ยุ่งยาก	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
7. การจำแนก ผู้ตอบ	จำแนกได้ว่า การที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้น เป็นเพราะมี มโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ	จำแนกได้ว่า การที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้น เป็นเพราะมี มโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ	จำแนกไม่ได้ว่า การที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้นเป็น เพราะมีมโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ	จำแนกไม่ได้ ว่าการที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้น เป็นเพราะมี มโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ	จำแนกไม่ได้ ว่าการที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้น เป็นเพราะมี มโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ	จำแนกได้ว่า การที่ผู้ตอบ ตอบผิดนั้น เป็นเพราะมี มโนคติ ที่คลาดเคลื่อน หรือตอบผิด เพราะไม่มี ความรู้ใน เรื่องนั้น ๆ

ที่มา : Gurel (2015) และวันเพ็ญ คำเทศ (2560)

จากวิธีและเครื่องมือวัดมโนคติ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับชั้น ซึ่งเป็นการตรวจสอบมโนคติที่สามารถระบุได้ว่านักเรียนมีมโนคติอย่างไร มีความไม่ซับซ้อนและไม่ใช้เวลาในการตอบมากเกินไป โดยผู้วิจัยสร้างขึ้นและปรับปรุงมาจากข้อคำถามในแบบสำรวจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของปีตุงษ์ ท้าค้อ (2557) ร่วมกับแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของสิริมา มิ่งเมือง (2560) และ Diagnostic test of photosynthesis ของ Treagust and Haslam (1986) และ Lim and Poo (2021)

3. การพัฒนามโนคติ

3.1 ความหมายของการพัฒนามโนคติ

นักการศึกษามีความเชื่อว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนสร้างความรู้และความหมายด้วยตัวเอง โดยอาศัยมโนคติหรือความเข้าใจที่มีอยู่ก่อนหน้าในการประมวลผลข้อมูลใหม่ (จินดารัตน์ แก้วพิกุล, 2554) ซึ่งการเรียนรู้จะเกิดขึ้นเมื่อมโนคติเดิมและมโนคติใหม่มีการปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าทั้งสองสามารถบูรณาการเข้าด้วยกันได้ การเรียนรู้ก็จะเกิดขึ้นอย่างราบรื่น แต่หากไม่สามารถบูรณาการได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขความเข้าใจเดิมเพื่อให้สามารถพัฒนาไปสู่ความรู้ใหม่ได้ (Hewson & Hewson, 2003)

โพสเนอร์และคณะ (Posner et al., 1982) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนามโนคติว่าแบ่งออกเป็น 2 ระยะหลัก ได้แก่ ระยะแรก ผู้เรียนมีมโนคติเดิมเพื่อใช้ในการเผชิญหน้ากับปรากฏการณ์ใหม่ และระยะที่สอง เมื่อมโนคติเดิมไม่สามารถอธิบายหรือจัดการกับปรากฏการณ์ใหม่ได้อย่างเพียงพอ จึงต้องมีการปรับปรุงหรือแก้ไขมโนคติเดิม ซึ่งโพสเนอร์ได้กล่าวถึงเงื่อนไขสำคัญ 4 ประการในการพัฒนามโนคติที่สามารถทำให้เกิดการเรียนรู้ได้แก่ 1) ผู้เรียนต้องรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนคติเดิมที่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ 2) มโนคติใหม่ต้องสามารถเข้าใจได้ง่าย 3) มโนคติใหม่จะต้องสามารถแก้ปัญหาหรือสอดคล้องกับมโนคติอื่น ๆ ได้ และ 4) มโนคติใหม่นั้นต้องมีประโยชน์ในการชี้นำการวิจัยหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติชี้ให้เห็นว่า การเรียนรู้เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์ใหม่และมโนคติเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้าในกระบวนการเรียนรู้ หากผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงมโนคติเดิมกับสิ่งที่เรียนรู้ใหม่ได้ จะเกิดการยอมรับมโนคติใหม่ แต่หากความรู้เดิมของผู้เรียนไม่เพียงพอหรือไม่ถูกต้อง มโนคติที่เกิดขึ้นจะถูกมองว่าเป็นมโนคติที่คลาดเคลื่อน ซึ่งการแก้ไขมโนคติที่คลาดเคลื่อนนี้อาจเป็นเรื่องยากและต้องใช้กระบวนการที่เหมาะสมในการปรับปรุง เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้นและผู้เรียนสามารถพัฒนาและเปลี่ยนแปลงมโนคติได้ กระบวนการนี้จะเรียกว่า การพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติ โดยผู้เรียน

จะต้องใช้ทั้งการยอมรับมโนคติใหม่และการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติอย่างสมดุล เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างมโนคติเดิมกับประสบการณ์ความรู้ใหม่ที่ได้รับ (Pintrich, Marx, & Boyle, 1993)

จากความหมายของการพัฒนามโนคติสรุปได้ว่า การพัฒนามโนคติ หมายถึง การพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนสู่ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ โดยผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติ ซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดมโนคติ

3.2 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติ

การพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนอาจต้องใช้รูปแบบ วิธีสอน และเทคนิคการสอนที่หลากหลาย แต่สิ่งสำคัญคือต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามโนคติซึ่งมโนคติเดิมอาจเป็นสิ่งที่ยากในการปรับเปลี่ยน (Pintrich et al., 1993) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการพัฒนามโนคติให้เกิดขึ้นได้ จากการศึกษา งานวิจัย วารสาร หนังสือ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สามารถส่งเสริมการพัฒนามโนคติหลายแบบ สรุปได้ดังนี้

3.2.1 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบชิปปา (CIPPA model)

รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบชิปปาเน้นให้ผู้เรียนมีโอกาสค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และสร้างความรู้ด้วยตัวเอง โดยให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเอง รูปแบบนี้สามารถช่วยพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้ (นิตยา ฤทธิ, 2016; อัศวิน พุ่มมรินทร์, 2556) โดยมีกระบวนการหลักในการจัดกิจกรรมที่สำคัญดังนี้

- 1) Construct คือ การให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการต่าง ๆ เช่น การแสวงหาข้อมูล การทำความเข้าใจ การคิดวิเคราะห์ การตีความหมาย และการสังเคราะห์ข้อมูล
- 2) Interaction คือ การส่งเสริมให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมชั้น เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์
- 3) Participation คือ การให้ผู้เรียนมีบทบาทและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้
- 4) Process คือ การให้ผู้เรียนเรียนรู้กระบวนการที่ทำให้เกิดข้อสรุป
- 5) Application คือ การให้ผู้เรียนได้นำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

โดยทิสนา แหมมณี (2558) ได้กล่าวถึง ข้อดีและข้อจำกัดของรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบชิปปา สอดคล้องกับอัศวิน พุ่มมรินทร์ (2556) ดังนี้

ข้อดี ได้แก่ ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเอง มีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น และได้ใช้ทักษะกระบวนการในการสร้างความรู้

ข้อจำกัด ได้แก่ ครูต้องมีความรู้และการเตรียมตัวล่วงหน้าที่ดี ทั้งด้านการเตรียมตัวเอง การเตรียมการสอน และการเตรียมการวัดและประเมินผล นอกจากนี้ ผู้เรียนต้องมีการปรับตัวพฤติกรรม โดยมีความกระตือรือร้นในการเข้าร่วมกิจกรรม ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.2 รูปแบบการจัดการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา (problem centered learning model: PCLM)

ในปี ค.ศ. 1991 เวทเลย์ (Wheatley, 1991) ได้นำเสนอแนวคิดที่สำคัญเกี่ยวกับการเรียนรู้โดยระบุว่า ทั้งครูและผู้เรียนล้วนมีบทบาทในการสร้างความรู้ การปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับผู้เรียนถือเป็นกระบวนการของการเจรจา เพื่อให้ได้มาซึ่งความหมายที่เหมาะสม ซึ่งผู้เรียนจะต้องได้รับการกระตุ้นให้สร้างมโนคติของตนเอง กระบวนการนี้ช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสในการจัดระเบียบความรู้และกรอบความคิดในการแก้ปัญหา รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาสามารถพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้ โดยรูปแบบที่เสนอโดยไพทอร์ย สุขศรีงาม (2537) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) การสร้างปัญหา โดยครูมีบทบาทในการตั้งปัญหาหรือสถานการณ์ที่ผู้เรียนต้องเผชิญ ผู้เรียนจะนำมโนคติเดิมที่มีอยู่มาใช้ในการหาทางแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งแต่ละคนอาจมีวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันไปตามความเข้าใจและมโนคติที่ตนมีอยู่

2) การแก้ปัญหาเป็นกลุ่ม โดยเมื่อผู้เรียนมีปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกัน ครูจะจัดผู้เรียนเป็นกลุ่มย่อยเพื่อร่วมกันแก้ปัญหานั้นๆ การทำงานเป็นกลุ่มจะทำให้เกิดการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียน ซึ่งสามารถนำไปสู่การเกิดภาวะไร้สมดุลทางความคิด ส่งผลให้ผู้เรียนค้นหาแนวทางในการปรับโครงสร้างความคิดจนสามารถกลับสู่สมดุลและได้คำตอบหรือความรู้ร่วมกัน

3) การแลกเปลี่ยนความคิด ในขั้นตอนนี้ ผู้เรียนจากแต่ละกลุ่มจะนำเสนอคำตอบหรือวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ให้กับกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นโอกาสในการอภิปรายและวิเคราะห์หาคำตอบหรือวิธีการของกลุ่มใดถูกต้องหรือไม่ โดยการแลกเปลี่ยนความคิดนี้จะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและพัฒนามโนคติให้ลึกซึ้งขึ้น

3.2.3 รูปแบบการสร้างความรู้ (generating learning model: GLM)

ออสบอร์นและวิทท็อค (Osborne & Wittrock, 1983) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ GLM ซึ่งเชื่อว่ากระบวนการทางสมองของมนุษย์ไม่ใช่เพียงการรับรู้หรือสะสมความรู้แบบเครื่องจักร แต่สมองมีการสร้างความรู้จากข้อมูลที่ได้รับและสามารถตัดสินใจวินิจฉัยได้ โดยความรู้ที่

อยู่ในสมองจะทำปฏิกิริยากับข้อมูลประสบการณ์ที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม ทำให้สมองเลือกที่จะจดจำข้อมูลบางอย่างและสร้างความหมายใหม่จากข้อมูลเหล่านั้น ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในความทรงจำระยะยาว รูปแบบนี้สามารถช่วยในการพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้ รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ GLM ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ (สุภกิจ จวงจันทร์, 2547)

1) การเลือกการรับรู้ โดยการใช้ความรู้และกระบวนการทางสติปัญญาที่บันทึกไว้ในความทรงจำระยะยาว เพื่อเลือกและให้ความสนใจกับปรากฏการณ์หรือข้อมูลที่มี ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถเกิดการเรียนรู้มากมายจากการเลือกที่จะใส่ใจในสิ่งเหล่านั้น

2) การสร้างความหมาย โดยข้อมูลหรือข้อสนเทศที่ได้รับจะถูกนำมาสร้างความหมายใหม่โดยการเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มีอยู่แล้ว เพื่อให้เกิดการทำความเข้าใจในระดับลึก

3) การประเมินความหมาย เป็นการประเมินหรือตรวจสอบความหมายที่สร้างขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้านี้เพื่อดูว่าความหมายที่ได้มีความสมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือหรือไม่ การตรวจสอบนี้ช่วยให้เกิดความชัดเจนและถูกต้องในความหมายที่สร้างขึ้น

4) การเปลี่ยนแปลงความรู้ เนื่องจากได้มีการตรวจสอบและประเมินความหมายในขั้นที่แล้ว ข้อมูลหรือความรู้เดิมอาจได้รับการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาใหม่ จึงทำให้เกิดมโนคติใหม่ที่เป็นผลลัพธ์จากการเรียนรู้ครั้งนี้

3.2.4 ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson)

ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ได้เสนอเงื่อนไขสำคัญที่ช่วยให้เกิดการพัฒนาหรือการเปลี่ยนแปลงมโนคติใหม่ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ประการที่ทำให้แนวความคิดใหม่สามารถบูรณาการเข้ากับมโนคติเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ 1) แนวความคิดใหม่ต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) 2) แนวความคิดใหม่ต้องมีความน่าเชื่อถือและมีเหตุผล (plausible) 3) แนวความคิดใหม่ต้องเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน (fruitful) ทั้งนี้ยังได้เสนอยุทธศาสตร์ในการสอนที่สามารถช่วยในการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียน ซึ่งประกอบด้วย 4 กลยุทธ์หลัก ดังนี้

1) การบูรณาการ (integration) กลยุทธ์นี้มุ่งเน้นให้การรับรู้มโนคติใหม่สามารถเชื่อมโยงและบูรณาการกับมโนคติเดิมที่ผู้เรียนมีอยู่ หรือการเชื่อมโยงมโนคติต่าง ๆ ที่ผู้เรียนเคยเรียนรู้มาก่อนให้เข้ากันอย่างมีความหมาย

2) การแยกความแตกต่าง (differentiation) กลยุทธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างมโนคติที่มีอยู่กับมโนคติอื่นที่มีความใกล้เคียงกัน แต่มีลักษณะที่ชัดเจนกว่า โดยผู้เรียนต้องเห็นว่าในบางสถานการณ์ มโนคติบางอย่างที่เคยถือว่าเชื่อถือได้ อาจไม่เหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างออกไป

3) การแลกเปลี่ยน (exchange) กลยุทธ์นี้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนมุมมองที่มีอยู่กับโมเดลใหม่ ซึ่งการรับรู้โมเดลเดิมและใหม่อาจขัดแย้งกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดความไม่พอใจในโมเดลเดิม และเห็นว่าโมเดลใหม่สามารถอธิบายและทำนายได้ดีกว่าโมเดลเดิม

4) การเชื่อมประสานการรับรู้โมเดล (conceptual bridging) กลยุทธ์นี้มีเป้าหมายในการสร้างบริบทที่ทำให้โมเดลที่มีลักษณะนามธรรมสามารถเชื่อมโยงกับประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรมได้อย่างมีความหมาย โดยการตั้งคำถามที่ต้องใช้โมเดลที่เพิ่งเรียนรู้อาจช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ผู้เรียนเห็นว่าโมเดลใหม่มีเหตุผลและความน่าเชื่อถือ และเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของตนเอง

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า มีผู้วิจัยที่ได้ใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันแล้วบรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงโมเดลมากมาย (ปวีนา งามชัด, 2556; พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; พิชชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552; วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556; สุนิษา คำสะอาด, 2558; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562; อิศราพร เกรินทวงศ์, 2557) ทั้งนี้ข้อดีและข้อจำกัดของยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน สามารถสรุปได้ดังนี้

ข้อดี ได้แก่ การเสนอแนวทางในการสอนของฮิวสันและฮิวสันมีการระบุยุทธศาสตร์ที่ชัดเจนเพื่อพัฒนามโนคติของผู้เรียน โดยมียุทธศาสตร์ทั้งหมด 4 ประการ ซึ่งในแต่ละกลยุทธ์จะมีจุดมุ่งหมายย่อยที่ช่วยกระตุ้นการพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้ ทำให้ครูสามารถนำแนวทางเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างง่ายดาย อีกทั้งยังระบุลักษณะของมโนคติใหม่ที่ต้องการให้เกิดการพัฒนาชัดเจน จึงช่วยให้ครูผู้สอนสามารถเตรียมการสอนเพื่อกระตุ้นการพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อจำกัด ได้แก่ การใช้ยุทธศาสตร์การสอนตามแนวทางของฮิวสันและฮิวสันอาจพบปัญหาคือ ไม่มีการกำหนดขั้นตอนการสอนที่เป็นรูปแบบแน่นอน ซึ่งอาจทำให้ครูผู้สอนมีความยากลำบากในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติที่มีขั้นตอนการสอนที่ค่อนข้างเป็นรูปแบบแน่นอน (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562)

3.2.5 เทคนิคการจัดการเรียนรู้ของเฮสส์ (Hesse)

เฮสส์ (Hesse, 1989) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยพัฒนามโนคติของผู้เรียน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นวินิจฉัย ขั้นตอนนี้เน้นที่การตรวจสอบและประเมินแนวความคิดเดิมของผู้เรียน เพื่อทำความเข้าใจในมุมมองหรือความเข้าใจที่พวกเขามีอยู่ก่อน

2) ขั้นท้าทายความคิด โดยครูจะนำเสนอข้อมูลหรือสถานการณ์ที่ท้าทายแนวความคิดเดิมของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนเริ่มสงสัยและมองเห็นความไม่สอดคล้องในมโนคติเดิม จนกระทั่งมโนคติเดิมถูกปฏิเสธ

3) ขั้นเสริมแรงแนวความคิดที่ถูกต้อง เมื่อแนวความคิดเดิมถูกทำลายไปแล้ว ครูจะนำเสนอแนวความคิดใหม่และอธิบายให้เห็นว่ามโนคติใหม่นั้นสามารถอธิบายสถานการณ์ใหม่ได้ดีขึ้น พร้อมทั้งอธิบายว่ามโนคติเดิมไม่สามารถทำเช่นนั้นได้

โดยจากการศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการใช้เทคนิคของเฮสส์ ในการจัดการเรียนรู้และเทคนิคเหล่านี้สามารถช่วยพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้ (ถนอมสิน วันสุดล, 2547; บุญสม สุวรรณหงษ์, 2546; ปฐมพงศ์ อัมประภา, 2546; พงศ์ผกา ถิ่นแสนดี, 2547)

จากการศึกษาเอกสาร มโนคติ ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อศึกษาการพัฒนา มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการใช้ยุทธศาสตร์การสอน 4 ประการ ได้แก่ 1) การบูรณาการ 2) การแยกความแตกต่าง 3) การแลกเปลี่ยน และ 4) การเชื่อมประสานการรับรู้ มโนคติ เนื่องจากเป็นยุทธศาสตร์ที่งานวิจัยจำนวนมากได้นำมาใช้และพบว่าสามารถทำให้ผู้เรียน เกิดการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงมโนคติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ยุทธศาสตร์เหล่านี้ เนื่องจากสามารถอธิบายถึงเงื่อนไขที่จำเป็นในการทำให้เกิดการพัฒนา มโนคติใหม่ได้ ซึ่งมี 3 ประการ ได้แก่ 1) แนวความคิดใหม่ต้องเข้าใจได้ง่าย 2) แนวความคิดใหม่ต้องมีเหตุผลน่าเชื่อถือ และ 3) แนวความคิดใหม่ต้องมีประโยชน์ต่อผู้เรียน ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้ทำให้สามารถจัดการเรียนรู้ที่มีเป้าหมายในการพัฒนามโนคติได้อย่างมีประสิทธิภาพและชัดเจน (กฤตธรรม แพนล้นฟ้า และคนอื่น ๆ, 2561; ปวีณา งามชัด, 2556; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562; อิศราพร เภรินทวงศ์, 2557) ในกระบวนการเรียนรู้จะทำให้ผู้เรียนเกิดความไม่พอใจในมโนคติเดิมที่ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้ผู้เรียนแสวงหามโนคติใหม่ที่สามารถอธิบายได้และเป็นประโยชน์ในการเข้าใจปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น ยุทธศาสตร์การสอนนี้ยังช่วยให้สามารถระบุลักษณะของมโนคติใหม่ที่มีความชัดเจนและเหมาะสมกับการพัฒนามโนคติเดิมให้กลายเป็นมโนคติใหม่ ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติรูปแบบอื่น ๆ ที่อาจไม่มีลักษณะที่ชัดเจนในกระบวนการพัฒนาว่าต้องมีลักษณะอย่างไรจึงจะทำให้ผู้เรียนยอมรับและเกิดการพัฒนา มโนคติเดิมสู่ มโนคติใหม่ได้

4. ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003)

การจัดการเรียนรู้ด้วยยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) หมายถึง การใช้กิจกรรมและกระบวนการต่าง ๆ ในการส่งเสริมให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าและยอมรับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ใหม่ เพื่อพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ได้เสนอรูปแบบการพัฒนามโนคติว่ามีเงื่อนไข 3 ประการ ที่แนวความคิดใหม่จะบูรณาการเข้ากับแนวความคิดเดิมได้ โดยองค์ประกอบของมโนคติใหม่ต้องมีองค์ประกอบดังนี้

1) มโนคติต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) ผู้เรียนต้องสามารถเข้าใจว่าแนวคิดใหม่คืออะไร สามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมโนคตินั้นและเห็นว่ามันเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ง่าย

2) มีเหตุผลน่าเชื่อถือ (plausible) ผู้เรียนต้องเชื่อว่าแนวคิดใหม่นี้มีความน่าเชื่อถือสามารถเชื่อมโยงกับมโนคติเดิมที่มีอยู่และเชื่อมโยงข้อเท็จจริงได้ดี

3) มีประโยชน์ (fruitful) ผู้เรียนต้องเห็นว่ามโนคติใหม่นั้นสามารถนำไปใช้เพื่ออธิบายทำนาย หรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

และได้เสนอยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์ในการสอนควรจะประกอบด้วย 4 ยุทธศาสตร์ประกอบด้วย

1) การบูรณาการ (integration) เป็นการบูรณาการการรับรู้มโนคติใหม่กับการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน ยุทธศาสตร์นี้เป็นยุทธศาสตร์ที่ใช้กันมากในการสอนวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน และอยู่บนพื้นฐานของข้อสันนิษฐานในการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมของผู้เรียนที่ครูนำไปใช้สอน

2) การแยกความแตกต่าง (differentiation) เป็นการแยกการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมกับการรับรู้มโนคติอื่นที่ใกล้เคียงกันแต่มีความชัดเจนกว่า โดยผู้เรียนจะต้องแสดงเหตุผลเพื่อให้มโนคติใหม่ฟังดูน่าเชื่อถือ และมโนคติใหม่จะต้องมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่ได้

3) การแลกเปลี่ยน (exchange) เป็นการแลกเปลี่ยนการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมกับการรับรู้มโนคติอันใหม่ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่การรับรู้มโนคติจะมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้ทั้งคู่ จะต้องทำให้ผู้เรียนเกิดความไม่พอใจในการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมและอย่างน้อยมโนคติใหม่สามารถอธิบายและทำนายได้มากกว่าอันเดิม

4) การเชื่อมประสานการรับรู้มโนคติ (conceptual bridging) เพื่อสร้างบริบทที่เหมาะสม โดยใช้มโนคติเชิงนามธรรมที่เพิ่งเรียน ช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ผู้เรียนมองเห็นว่ามโนคติใหม่เหล่านี้ มีเหตุผลน่าเชื่อถือได้และมีประโยชน์เป็นที่น่าสนใจ

แม้ว่างานวิจัยหลายฉบับจะระบุว่า ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันสามารถพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หนึ่งในข้อจำกัดที่พบคือ การขาดรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการสร้างมโนคติใหม่ อาจทำให้ครูผู้สอนไม่สามารถจัดการเรียนรู้ได้อย่างสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554) ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้การใช้ยุทธศาสตร์นี้ในห้องเรียนบางครั้งไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาหรือปรับปรุงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ให้มีความชัดเจนและมีลำดับขั้นตอนที่สามารถปฏิบัติได้ง่าย เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการพัฒนามโนคติของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้รูปแบบหรือการจัดการเรียนรู้อื่นที่มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนมาผสมผสานกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน เพื่อให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างครบถ้วนและเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

5. รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ

5.1 ความหมายของการเรียนรู้จากประสบการณ์

การเรียนรู้จากประสบการณ์เป็นกระบวนการที่เน้นผู้เรียนรู้เป็นสำคัญ โดยนำประสบการณ์หรือมโนคติเดิมที่มีอยู่เกิดการเรียนรู้เพื่อสร้างความรู้หรือมโนคติขึ้นใหม่ (นัยนา ดอรรณ, ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา, และ ผ่องพรรณ เกิดพิทักษ์, 2563) โดยนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายการเรียนรู้จากประสบการณ์ไว้และคอล์บ (Kolb, 2014) ได้ให้ความหมายว่า การเรียนรู้จากประสบการณ์ หมายถึง กระบวนการสร้างความรู้โดยการปรับเปลี่ยนประสบการณ์อย่างต่อเนื่อง จากการสังเกต การสะท้อนความคิด การสรุปความคิดรวบยอดนำไปสู่การนำไปปฏิบัติ โดยจากความหมายของการเรียนรู้จากประสบการณ์ของนักการศึกษาต่าง ๆ มีส่วนร่วมที่เหมือนกัน คือ เป็นการเรียนรู้จากมโนคติหรือประสบการณ์เดิม เพื่อให้เกิดความรู้ ทักษะและเจตคติ ทำให้เกิดความรู้หรือมโนคติใหม่ ส่วนที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการในการเรียนรู้ของแต่ละบุคคลเพื่อให้เกิดความรู้หรือมโนคติใหม่

สรุปได้ว่า การเรียนรู้จากประสบการณ์ หมายถึง กระบวนการสร้างความรู้ ทักษะและเจตคติ โดยการดึงเอามโนคติหรือประสบการณ์เดิม แล้วกระตุ้นให้สะท้อนความคิดเกี่ยวกับประสบการณ์นั้น ๆ ออกมาเพื่อเป็นความรู้หรือมโนคติใหม่

5.2 ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ (Kolb's experiential learning) (Kolb, 1984, 2014) เกิดจากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ (experiential learning theory) ที่ได้รับแนวคิดจากทฤษฎีการพัฒนาและการเรียนรู้ของมนุษย์จากนักการศึกษาชั้นนำของศตวรรษที่ 20 ได้แก่ John Dewey, Kurt Lewin, Jean Piaget, William James, Carl Jung, Paulo Freire, Carl Rogers และคนอื่น ๆ เพื่อพัฒนารูปแบบของกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ โดยคุณลักษณะของการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ มีหลักการบนพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ 6 ประการ ดังนี้

1) การเรียนเป็นกระบวนการไม่ใช่ผลลัพธ์ ดังนั้นเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ให้ดีขึ้น ควรทำให้ผู้เรียนตระหนักถึงกระบวนการที่ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ดีที่สุด รวมทั้งกระบวนการที่ให้ผู้เรียนรับทราบประสิทธิภาพของการเรียนอย่างรวดเร็วเพื่อการปรับปรุงแก้ไข

2) การเรียนโดยรวมแล้ว คือ การเรียนรู้ซ้ำ ๆ หลายครั้ง การเรียนเป็นกระบวนการที่เอื้อให้ผู้เรียนตรวจสอบ ทดสอบ ทดลอง ผิดพลาด บำรุงการประสบการณ์ ความรู้ ความเชื่อเดิมกับประสบการณ์ ความรู้ ความเชื่อ และความคิดเห็นใหม่ ๆ

3) การเรียนเกิดจากการแก้ปัญหา เนื่องจากความสามารถแก้ปัญหา ความขัดแย้ง ความแตกต่างและการไม่เห็นด้วย จะก่อให้เกิดการเรียนรู้ ในกระบวนการเรียนที่มีประสิทธิภาพ ผู้เรียนจะต้องแสดงหลายบทบาท เช่น ขัดแย้ง ได้ตอบ แสดงความรู้สึก และคิดวิเคราะห์

4) การเรียนเป็นกระบวนการปรับตัวให้ทันโลก การเรียนจึงเป็นการบูรณาการ ความคิด ความรู้สึก การรับรู้และการประพฤติปฏิบัติกับสถานการณ์ในโลกปัจจุบัน

5) การเรียนเป็นผลจากการเชื่อมโยงระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ การเรียนรู้เกิดขึ้นจากการสัมผัสประสบการณ์ใหม่ผนวกกับมโนคติที่มีอยู่เดิม และปรับมโนคตินั้นให้เข้ากันกับประสบการณ์ใหม่

6) การเรียนคือกระบวนการสร้างความรู้ ความเข้าใจ และทัศนคติ

จะเห็นได้ว่าทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ เสนอแนวคิดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสร้างความรู้ ความเข้าใจ ทักษะ ความสามารถ และประสบการณ์จากบริบทต่าง ๆ ของการเรียนรู้ทั้งจากในสถานศึกษา และสภาพแวดล้อมในสังคมอยู่เสมอ ดังนั้นทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ จึงนิยามคำว่า การเรียนเป็นกระบวนการที่สร้างความรู้ ทักษะ และเจตคติด้วยการนำเอาประสบการณ์หรือมโนคติเดิมของผู้เรียนมาบูรณาการเพื่อสร้างมโนคติหรือการเรียนรู้ใหม่ ๆ ขึ้น

ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ (Kolb, 2014) ได้อธิบายว่า เป็นการดำเนินการที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ (experience) ที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในเรื่องที่เรียนรู้ก่อน แล้วจึงให้ผู้เรียนย้อนกลับไปสังเกตหรือทบทวน สิ่งที่เกิดขึ้นและนำสิ่งที่เกิดขึ้นมาคิดพิจารณาไตร่ตรอง (reflect) ร่วมกันจนกระทั่งผู้เรียนสามารถสร้างมโนคติ ความคิดรวบยอดหรือสมมติฐานต่าง ๆ ในเรื่องที่เรียนรู้ (conceptualize) แล้วจึงนำมโนคติหรือสมมติฐานเหล่านั้นไปทดลองหรือประยุกต์ใช้ (apply) ในสถานการณ์ใหม่ ๆ ต่อไป สอดคล้องกับ Honey and Mumford (1992) ที่ให้ความหมายเกี่ยวกับการเรียนรู้จากประสบการณ์ว่าเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานแต่มีความสำคัญยิ่งต่อการแสวงหาความรู้ ถ้าหากผู้เรียนไม่สามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ ผู้เรียนจะไม่สามารถแสวงหาความรู้หรือฝึกฝนทักษะต่าง ๆ และอาจจะทำผิดพลาดซ้ำแล้วซ้ำเล่า ในที่สุดก็จะไม่สามารถปรับตัวให้ทันกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ การเรียนรู้จากประสบการณ์จึงมีความสำคัญมากที่สุดในบรรดาทักษะการดำรงชีวิต เนื่องจากทุกสิ่งทุกอย่างที่เกิดจากการกระทำล้วนเป็นผลที่ได้จากประสบการณ์

ดังนั้นหลักการสำคัญของการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ คือ การเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมอย่างจริงจัง ใช้ความคิดไตร่ตรองอย่างมีวิจารณญาณเกี่ยวกับประสบการณ์การเรียนรู้ โดยต้องอาศัยมโนคติหรือประสบการณ์เดิมของผู้เรียน ซึ่งการเรียนรู้จากประสบการณ์นี้ไม่เพียงแต่เป็นการเชื่อมการเรียนรู้เข้ากับสถานการณ์ในชีวิตจริง หรือการมีประสบการณ์ต่อการกระทำต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งเท่านั้น แต่เป็นการนำเอาการกระทำนั้น ๆ มาไตร่ตรองพิจารณาเพื่อนำไปสู่ความเข้าใจและสร้างมโนคติหรือองค์ความรู้ใหม่และนำความรู้นั้นไปใช้ในโอกาสอันควรให้เหมาะสม และผู้สอนก็ต้องจัดกิจกรรมให้สอดคล้องกับพื้นฐานความรู้และประสบการณ์เดิมของผู้เรียนเพื่อให้ นักเรียนได้พัฒนาความคิด ทักษะและเจตคติที่ดี (นงนุช เสือภูมิ และคนอื่น ๆ, 2560)

5.3 ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ (Kolb, 1984, 2014) ได้อธิบายว่า ผู้เรียนแต่ละคนเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ อย่างเป็นกระบวนการที่ดำเนินกันไปเป็นวงจรซึ่งแต่ละขั้นของการเรียนรู้ก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไปด้วย การจัดการเรียนรู้ที่ใช่วงจรการเรียนรู้จากประสบการณ์มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ผู้เรียนใช้ความรู้ที่ได้เรียนและเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถ โดยให้โอกาสผู้เรียนได้รับประสบการณ์อย่างเป็นรูปธรรมที่ทำให้ผู้เรียนสามารถค้นหากฎเกณฑ์ทางด้วยการลองผิดลองถูก การให้ข้อมูลย้อนกลับ หรือการสันนิษฐานและทบทวนข้อสรุปเพื่อที่จะได้ฝึกฝนได้อย่างคล่องแคล่วจากกิจกรรมการเรียนรู้ เช่น การทดลอง การเล่นเกมบทบาทสมมติ หรือ

สถานการณ์จำลอง จะเห็นได้ว่าครูผู้สอนไม่เพียงแต่มีหน้าที่ที่จะบอกผู้เรียน แต่ยังให้โอกาสผู้เรียนในการเรียนรู้ด้วยวิธีการที่ผู้เรียนต้องจัดการกับปัญหา ขณะเดียวกันก็ได้รับประสบการณ์การเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรม (สุจิตรา ตริรัตน์กุล, 2562)

แนวคิดของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) ได้นำเสนอกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ว่าประกอบด้วยขั้นตอนหรือองค์ประกอบ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ประสบการณ์รูปธรรม (concrete experience) เป็นขั้นที่ผู้เรียนจะได้สัมผัสและเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่ผู้สอนออกแบบไว้ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวอาจครอบคลุมการทดลอง การอ่าน การชมวิดีโอ การรับฟังเรื่องราว การสนทนา การทำงานร่วมกันในกลุ่ม การเล่นเกม บทบาทสมมติ สถานการณ์จำลอง หรือการนำเสนอผลลัพธ์จากการปฏิบัติจริง โดยสิ่งสำคัญคือผู้เรียนจะต้องมีบทบาทหลักในการลงมือทำหรือปฏิบัติกิจกรรมนั้นด้วยตนเอง (do or act) เพื่อสร้างประสบการณ์ที่แท้จริงและนำไปสู่การเรียนรู้ที่มีความหมาย

ขั้นที่ 2 การไตร่ตรองสะท้อนประสบการณ์จากกิจกรรมและอภิปราย (reflective observation and discussion) หรือ reflect เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนจะได้แสดงความคิดเห็นและสะท้อนความรู้สึกที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ในการปฏิบัติกิจกรรม พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิกในกลุ่ม การสะท้อนดังกล่าวช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจมุมมองและความรู้สึกที่หลากหลายของผู้อื่น ซึ่งจะนำไปสู่การเรียนรู้ที่ลึกซึ้งและกว้างขวางยิ่งขึ้น โดยการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นหรือการอภิปราย จะช่วยให้เกิดข้อสรุปหรือแนวคิดที่มีน้ำหนักและความน่าเชื่อถือมากขึ้น ผู้เรียนยังรู้สึกถึงความสำคัญของตนเองในฐานะสมาชิกของกลุ่ม โดยได้รับการรับฟังความคิดเห็น รวมถึงมีโอกาสเรียนรู้มุมมองจากเพื่อนร่วมกลุ่ม ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มพูนความรู้และเสริมสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสมาชิกในกลุ่ม ขั้นตอนนี้จึงไม่เพียงช่วยพัฒนาความรู้ของผู้เรียน แต่ยังส่งเสริมเจตคติที่ดีในเรื่องที่มีการอภิปราย รวมถึงสร้างความเข้าใจและความร่วมมือที่เข้มแข็งในกลุ่มเรียนรู้

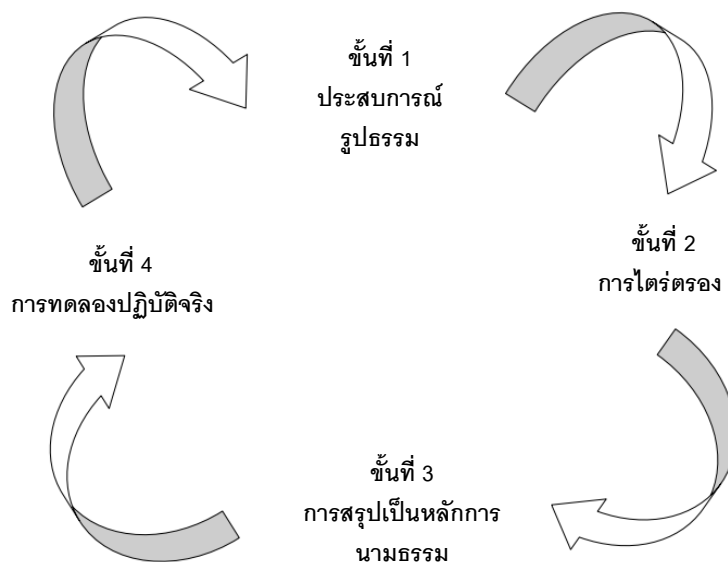
ขั้นที่ 3 การสรุปเป็นหลักนามธรรม (abstract conceptualization) เป็นขั้นที่ผู้เรียนจะร่วมกันสรุปข้อมูลและความคิดเห็นที่ได้จากการสะท้อนและอภิปรายในขั้นก่อนหน้า โดยผู้สอนอาจใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนช่วยกันสรุปแนวคิดหรือข้อสรุปสำคัญ กรณีที่กิจกรรมเกี่ยวข้องกับความรู้หรือข้อมูลใหม่ ผู้สอนอาจเสริมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น การอธิบาย การให้อ่านเอกสาร การชมวิดีโอ หรือการนำเสนอข้อเท็จจริง เพื่อเติมเต็มความรู้และประสบการณ์ใหม่ โดยเป้าหมายของขั้นตอนนี้คือการช่วยให้ผู้เรียนสามารถรวบรวมและจัดระบบแนวคิดต่าง ๆ เพื่อพัฒนาเป็นหลักการความคิดรวบยอด มโนคติ หรือองค์ความรู้ใหม่ได้อย่างชัดเจน วิธีการที่ใช้ในการสรุปอาจ

หลากหลาย เช่น การเขียนบันทึกการเรียนรู้ การสร้างแผนภาพโนมิตี (mind mapping) การนำเสนอแผนภาพหรือแผนภูมิ (graphic organizer) หรือการพัฒนาแบบจำลองความคิด (model) และกรอบงาน (framework) ในขั้นนี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถจัดระเบียบความรู้ที่ได้จากกิจกรรมอย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งนำไปใช้ประโยชน์ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริงหรือประยุกต์ใช้ความรู้ (active experimentation or application) เป็นขั้นที่ผู้เรียนจะนำความรู้ แนวคิดรวบยอด หรือข้อสรุปจากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทดลองและปรับใช้ในสถานการณ์จริง ขั้นตอนนี้มีบทบาทสำคัญอย่างมาก เนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการเชื่อมโยงความรู้เชิงทฤษฎีกับการปฏิบัติในชีวิตจริง อย่างไรก็ตามกิจกรรมการเรียนการสอนในบางครั้งอาจขาดการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลองใช้แนวคิดหรือความรู้ที่เรียนรู้อย่างเต็มที่ อาจทำให้ผู้เรียนไม่สามารถต่อยอดความรู้ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นผู้สอนควรสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้ผู้เรียนได้นำความรู้ไปใช้ผ่านกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น การจัดทำโครงการที่เชื่อมโยงกับบทเรียน การออกแบบกิจกรรมเผยแพร่ความรู้ให้กับชุมชน หรือการดำเนินกิจกรรมรณรงค์ (campaign) เพื่อสร้างความตระหนักรู้ในประเด็นต่าง ๆ โดยการทดลองปฏิบัติจริงนี้ไม่เพียงช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาความเข้าใจในเชิงลึก แต่ยังสร้างทักษะสำคัญ เช่น การคิดเชิงวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกับผู้อื่น ผู้เรียนจะสามารถนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวันหรือการทำงานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความมั่นใจและความภาคภูมิใจในความสามารถของตนเอง

จากแนวคิดกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บสรุปได้ว่า กระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักที่ช่วยเสริมสร้างความรู้ ทักษะ และความเข้าใจที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง ขั้นตอนแรกคือ ประสบการณ์รูปธรรม เป็นขั้นที่ผู้เรียนได้สัมผัสประสบการณ์จริงผ่านกิจกรรมต่าง ๆ ขั้นที่สองคือ การไตร่ตรองและสะท้อนประสบการณ์ ในขั้นนี้ผู้เรียนจะสะท้อนความคิดเห็นและความรู้สึกจากกิจกรรมที่ได้ทำ พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนร่วมกลุ่ม ขั้นที่สามคือ การสรุปเป็นหลักนามธรรม เป็นขั้นที่ผู้เรียนจะรวบรวมข้อมูลและข้อคิดเห็นจากการสะท้อนมาสรุปเป็นแนวคิดหรือข้อสรุปที่ชัดเจน โดยผู้สอนอาจเสริมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาแนวคิดให้มีความลึกซึ้งยิ่งขึ้น และสามารถจัดระเบียบความรู้ได้อย่างเป็นระบบ สุดท้ายคือ การทดลองและประยุกต์ใช้ความรู้ ในขั้นนี้ที่ผู้เรียนจะนำความรู้ที่ได้จากขั้นก่อนหน้านี้ไปทดลองใช้ในสถานการณ์จริง

ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี สรุปรูปได้ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี

ที่มา : เสาวภา วิชาดี (2554)

ในการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ให้มีประสิทธิภาพต่อผู้เรียนจำเป็นต้องจัดกิจกรรมให้ครบวงจรทั้ง 4 ขั้นตอนหรือองค์ประกอบ เพราะขั้นตอนทั้ง 4 มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องอย่างเลื่อนไหลต่อเนื่องส่งผลถึงกัน แม้บางคนจะชอบ ถนัด หรือมีบางองค์ประกอบมากกว่า เช่น ไม่ชอบหรือไม่กล้าแสดงความคิดเห็น หรือไม่นำประสบการณ์จากการปฏิบัติมาร่วมอภิปราย ผู้เรียนจะขาดการมีทักษะในองค์ประกอบอื่น ดังนั้นผู้เรียนควรได้รับการกระตุ้นส่งเสริมให้มีทักษะการเรียนรู้ครบทุกด้าน และควรมีพัฒนาการเรียนรู้ให้ครบทั้งวงจร หรือทั้ง 4 ขั้นตอน (สุจิตรา ตรีรัตนกุล, 2562)

จากรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีสรุปได้ว่า ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์เป็นกระบวนการที่ความรู้จะถูกสร้างขึ้นจากการถ่ายทอดประสบการณ์ ความรู้จึงเป็นผลจากการผสมผสานระหว่างวิธีเรียนโดยการรับและการถ่ายทอดประสบการณ์ ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ที่ดีประกอบด้วยขั้นตอนหรือองค์ประกอบการเรียนรู้ 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม 2) การไตร่ตรอง 3) การสรุปเป็นหลักนามธรรม และ 4) การทดลอง

ปฏิบัติจริง โดยการเรียนรู้จะเกิดขึ้นเป็นวงจรซ้ำ ๆ โดยที่ผู้เรียนไม่รู้ตัว แต่ผู้เรียนแต่ละคนจะมีความแตกต่างกันในความสามารถที่จะเรียนรู้ได้ในแต่ละสถานการณ์

จากการศึกษาเอกสาร ทฤษฎี รูปแบบการจัดการเรียนรู้ และหลักการที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อศึกษาการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัย พบว่ามีผู้วิจัยที่ได้ใช้รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บแล้วบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทรัพย์สิริ เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา และคนอื่น ๆ, 2564; นงนุช เสือพุมิ และคนอื่น ๆ, 2560) โดยมาประยุกต์ใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ที่ไม่มีรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้อย่างชัดเจน ทำให้ครูผู้สอนไม่สามารถจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติได้สมบูรณ์เท่าที่ควร (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553; เสาวนีย์ สังฆะชี, 2554; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) ผู้วิจัยจึงพัฒนาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยนำรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนมาประยุกต์เข้ากับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติตามยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน และจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังไม่มีการนำมาใช้ร่วมกันในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง อีกด้วย

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติ สามารถนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นได้อย่างชัดเจนจนสร้างมโนคติใหม่ได้ ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนเพื่อใช้ออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience)

ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกรับรู้จากประสบการณ์จริง ใช้ความรู้สึกรับรู้ข้อมูล เรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม โดยผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อทำให้ผู้เรียนรู้ว่ามีมโนคติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์

ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต (reflective observation)

ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เป็นการเรียนรู้จากการดู การสังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำความเข้าใจใช้เวลาไตร่ตรองเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract conceptualization)

ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด จากการสังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นแนวคิดของตนเอง เป็นการเรียนรู้จากการคิดหลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะค้นหาข้อสรุปเป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือกฎเกณฑ์ โดยผู้เรียนจะเกิดกระบวนการปรับปรุงมโนคติเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับมโนคติใหม่ได้ในที่สุด

ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation)

ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ เป็นการเรียนรู้จากการลงมือทำ โดยผู้เรียนจะนำประสบการณ์หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ จนทำให้ผู้เรียนเห็นว่ามโนคติใหม่นั้นมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้และมีประโยชน์กับผู้เรียน

โดยขั้นที่ 1 เป็นขั้นที่ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกรู้จากประสบการณ์จริง ผู้สอนจึงสามารถวางแผนเพื่อให้ผู้เรียนรู้ว่ามีมโนคติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ส่วนขั้นที่ 2 เป็นขั้นที่ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกตและสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม จนนำมาสู่ขั้นที่ 3 เป็นขั้นที่ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด สังเกตแล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นมโนคติของตนเอง ผู้เรียนจะเกิดกระบวนการปรับปรุงมโนคติเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับมโนคติใหม่ได้ในที่สุด จากนั้นยังสามารถทำให้ผู้เรียนที่มีมโนคติใหม่แล้วนั้นสามารถนำมโนคติใหม่ไปอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในขั้นที่ 4 เป็นขั้นที่ผู้เรียนนำมโนคติใหม่ที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนเกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่และพัฒนาไปสู่ระดับมโนคติที่สูงขึ้น ทำให้ผู้เรียนเห็นว่ามโนคติใหม่นั้นมีประโยชน์กับผู้เรียนนั่นเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บนั้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติที่มีการตรวจสอบความรู้เดิมของผู้เรียนอย่างชัดเจน และมีรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่แน่นอนซึ่งมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) สำหรับพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ได้ เพื่อให้มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนต่อเนื่อง ตั้งแต่การสร้างมโนคติและนำไปสู่การพัฒนาโมโนคติได้ในที่สุด สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014)	ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003)	คำอธิบายการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ
<u>ขั้นที่ 1</u> การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience)	- การบูรณาการ (integration) - การแยกความแตกต่าง (differentiation) - การแลกเปลี่ยน (exchange)	ขั้นที่ผู้เรียนได้ทบทวนและตรวจสอบมโนคติของตนเองโดยลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึจากประสบการณ์จริง ใช้ความรู้สึในการรับรู้ข้อมูลเรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม โดยผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนรู้ว่ามโนคติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ และทราบว่ามโนคติเดิมที่ตนเองมีอยู่นั้นเป็นอย่างไรและนำไปเชื่อมโยงหรือแลกเปลี่ยนกับมโนคติใหม่ในขั้นต่อไป

ตาราง 3 (ต่อ)

รูปแบบการเรียนรู้จาก ประสบการณ์ของคอลลีบ (Kolb, 1984, 2014)	ยุทธศาสตร์การสอน ของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003)	คำอธิบายการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้ จากประสบการณ์ของคอลลีบ
<u>ขั้นที่ 2</u> การสะท้อนคิดจาก การสังเกต (reflective observation)	- การแยกความแตกต่าง (differentiation) - การแลกเปลี่ยน (exchange)	ขั้นที่ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำ ความเข้าใจในสิ่งที่ได้ จาก การสังเกตและสะท้อนคิดจาก ประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เป็นการเรียนรู้จากการดู การ สังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำ ความเข้าใจ ใช้เวลาไตร่ตรอง เกี่ยวกับเรื่องที่เรียน ซึ่งข้อมูล ที่ได้จะทำให้ผู้เรียนเห็นว่า มโนคติเดิมที่ผู้เรียนมีนั้นไม่ สามารถอธิบายปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์นั้นได้จนเกิด ความไม่พอใจในมโนคติเดิม ของตนเองและแสวงหามโน คติใหม่

ตาราง 3 (ต่อ)

รูปแบบการเรียนรู้จาก ประสบการณ์ของคอลลัม (Kolb, 1984, 2014)	ยุทธศาสตร์การสอนของ ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003)	คำอธิบายการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้ จากประสบการณ์ของคอลลัม
ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็น นามธรรม (abstract conceptualization)	- การแยกความแตกต่าง (differentiation) - การแลกเปลี่ยน (exchange)	ขั้นที่ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จาก การสะท้อนคิด จากการ สังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจน สร้างเป็นแนวคิดของตนเอง เป็นการเรียนรู้จากการคิด หลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะคิดหาข้อสรุปเป็น แนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือ กฎเกณฑ์ โดยผู้เรียนจะเกิด กระบวนการปรับปรุงโมเดล เพื่อให้สามารถอธิบาย ปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้ เห็นว่าโมเดลเดิมนั้นไม่ สามารถอธิบายได้ และ ยอมรับโมเดลใหม่ได้ในที่สุด ซึ่งโมเดลใหม่ที่สร้างขึ้น สามารถใช้อธิบายหรือทำนาย ปรากฏการณ์หรือ สถานการณ์นั้นได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รูปแบบการเรียนรู้จาก ประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014)	ยุทธศาสตร์การสอนของ ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003)	คำอธิบายการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้ จากประสบการณ์ของคอล์บ
ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation)	- การเชื่อมประสานการรับรู้ มโนคติ (conceptual bridging)	ขั้นที่ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเอง สร้างไปทดลอง ปฏิบัติหรือใช้ ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่ง นำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ จนทำให้เกิดการหมุนเวียน เป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ เป็น การเรียนรู้จากการลงมือทำ โดยผู้เรียนจะนำประสบการณ์ หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ จนทำให้ผู้เรียนเห็นว่ามโนคติ ใหม่นั้นมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้ และมีประโยชน์กับผู้เรียน สามารถใช้ทำนาย อธิบาย และแก้ปัญหาได้ดีกว่ามโนคติ เดิม เมื่อผู้เรียนเห็นประโยชน์ ของมโนคติใหม่ที่ผู้เรียนสร้าง ขึ้น เกิดการยอมรับมโนคติ ใหม่และปฏิเสธมโนคติเดิมที่ มีอยู่

ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ อาจไม่จำเป็นต้องดำเนินการครบทุกยุทธศาสตร์ทั้ง 4 เพื่อพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนตามที่ฮิวสันและฮิวสันได้แนะนำ แต่ควรให้ความสำคัญกับการสร้างความพึงพอใจในมโนคติใหม่ โดยอ้างอิงถึงเงื่อนไข 3 ประการที่ฮิวสันและฮิวสันระบุ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการยอมรับมโนคติใหม่ ปฏิเสธมโนคติเดิม และในที่สุดสามารถทำให้เกิดการพัฒนาในมโนคติได้ (อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) ซึ่งการออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ขึ้นในแต่ละขั้นนั้นให้ผู้สอนคำนึงถึงลักษณะสำคัญของแต่ละยุทธศาสตร์การสอนและมโนคติที่คลาดเคลื่อนที่มักพบในแต่ละมโนคตินั้นเพื่อยุทธศาสตร์การสอนที่สามารถพัฒนามโนคติผู้เรียนจะได้ประสิทธิภาพดีที่สุด

จากการดำเนินการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า มโนคติเป็นความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่สรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ หรือความสัมพันธ์ของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง สามารถมองเห็นหรือสังเกตได้ ซึ่งมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่ได้มาจากข้อเท็จจริงตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ เกิดการแยกแยะ การเปรียบเทียบความแตกต่างและหาความสัมพันธ์ จนเกิดข้อสรุปต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นไปตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์และยอมรับกันทั่วไปในขณะนั้น แต่มโนคติหรือความเข้าใจต่อข้อเท็จจริงหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างไปจากมโนคติที่นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันนั้นยอมรับนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ที่เราเรียกว่า มโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ เมื่อเกิดแล้วจะแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ยาก สาเหตุที่ทำให้การเกิดมโนคติที่คลาดเคลื่อนนั้นมีหลากหลาย เช่น ภาษาในชีวิตประจำวัน ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ตัวนักเรียนเอง ครูทำให้นักเรียนเข้าใจมโนคติคลาดเคลื่อน โดยในการสอนเพื่อสร้างและพัฒนามโนคติควรเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจโดยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์เดิมเข้ากับความรู้หรือประสบการณ์ใหม่ที่นักเรียนได้รับขณะที่เรียนรู้ โดยครูเป็นผู้จัดประสบการณ์ให้นักเรียนได้ฝึกเป็นนักคิดและนักปฏิบัติ จากการตั้งคำถาม ตอบคำถาม แก้ปัญหาต่าง ๆ จากการลงมือปฏิบัติ การจัดประเภทมโนคติทางวิทยาศาสตร์มีการจัดจำแนกมโนคติออกเป็นหลายประเภทเพื่อจัดกลุ่มมโนคติที่ระดับแตกต่างกัน และวัดได้โดยใช้วิธีและเครื่องมือวัดมโนคติทั้งแบบทดสอบวินิจฉัย แบบสัมภาษณ์ แบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิด หรือแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ

การพัฒนามโนคติเป็นกระบวนการที่ช่วยเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาความเข้าใจของผู้เรียนในมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องมือที่ใช้ใน

การประเมินโนมตี การพัฒนามโนตินั้นอาศัยมโนติเดิมที่ผู้เรียนมีอยู่แล้วในการสร้างพื้นฐานสำหรับการเปลี่ยนแปลง โดยแนวคิดในการเปลี่ยนแปลงมโนติกล่าวว่า การเรียนรู้เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมโนติใหม่กับมโนติเดิมที่มีอยู่ในผู้เรียน ถ้าทั้งสองมโนติสามารถบูรณาการเข้ากันได้ การเรียนรู้จะดำเนินไปอย่างราบรื่น แต่หากไม่สามารถบูรณาการได้ จะต้องมีการปรับปรุงมโนติเดิมเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ โดยการพัฒนามโนติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะหลัก คือ ระยะที่ 1 ผู้เรียนมีมโนติเดิมที่ใช้ในการเผชิญกับปรากฏการณ์ใหม่ และระยะที่ 2 เมื่อมโนติเดิมไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้อย่างเหมาะสม ผู้เรียนจะทำการปรับปรุงแก้ไขมโนติเดิมโดยใช้กระบวนการของการซึมซับมโนติใหม่และการปรับปรุงโครงสร้างความรู้ให้สมดุลเพื่อให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างมโนติเดิมและประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับ ซึ่งการทำให้เกิดการพัฒนาโนมตินั้นจะต้องมีเงื่อนไข 4 ประการ ได้แก่ 1) เกิดความไม่พึงพอใจในมโนติเดิม เพราะไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ 2) มโนติใหม่เป็นสิ่งที่เข้าใจได้ 3) มโนติใหม่สามารถแก้ปัญหาที่เผชิญใหม่ได้ หรือมีความสอดคล้องกับมโนติอื่น ๆ และ 4) มโนติใหม่เป็นประโยชน์ในการชี้นำการวิจัยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้

ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีการ กระบวนการ ขั้นตอนต่าง ๆ ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าและยอมรับมโนติทางวิทยาศาสตร์ใหม่ เพื่อพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมโนติของผู้เรียนได้ โดยอาศัยหลักการทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนติ ผ่านยุทธศาสตร์การสอน 4 ยุทธศาสตร์ ได้แก่ 1) การบูรณาการ มีจุดมุ่งหมายเพื่อบูรณาการการรับรู้มโนติใหม่กับการรับรู้มโนติที่มีเดิม หรือบูรณาการการรับรู้มโนติต่าง ๆ ที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน 2) การแยกความแตกต่าง มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้แยกการรับรู้มโนติที่มีอยู่กับการรับรู้มโนติอื่นที่ใกล้เคียงกันแต่มีความชัดเจนกว่า ทำให้ผู้เรียนเห็นว่าสิ่งที่มีเหตุผลน่าเชื่อถือในสถานการณ์หนึ่ง อาจจะไม่น่าเชื่อถืออีกต่อไปในสถานการณ์อื่นที่แตกต่างและซับซ้อนขึ้น 3) การแลกเปลี่ยน มีจุดมุ่งหมายเพื่อแลกเปลี่ยนการรับรู้มโนติที่มีอยู่เดิมกับมโนติใหม่ เพราะการรับรู้มโนตินั้นขัดแย้งกัน ดังนั้นย่อมเป็นไปได้ที่การรับรู้มโนติจะมีเหตุผล น่าเชื่อถือได้ทั้งคู่ จะต้องทำให้ผู้เรียนเกิดความไม่พอใจในการรับรู้มโนติที่มีอยู่เดิม ในขณะเดียวกันแสดงให้เห็นว่าการรับรู้ มโนติใหม่สามารถอธิบายและมีประโยชน์ได้มากกว่าเดิม และ 4) การเชื่อมประสานการรับรู้มโนติ มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างบริบทที่เหมาะสมซึ่งมโนติเชิงนามธรรมที่สำคัญ สามารถเชื่อมโยงกับประสบการณ์สามัญที่มีความหมาย การตั้งคำถามซึ่งจะต้องตอบโดยใช้มโนติเชิงนามธรรมที่เรียนใหม่จะช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมที่ทำให้มองเห็นว่ามโนติใหม่เหล่านี้มีเหตุผลน่าเชื่อถือและมีประโยชน์เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งองค์ประกอบของมโนติใหม่ ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนติ

ต้องมีเงื่อนไของค์ประกอบ ได้แก่ 1) มโนคติต้องเข้าใจได้ง่าย ผู้เรียนต้องรู้ว่ามโนคติใหม่คืออะไร สามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับมโนคตินั้น และเห็นว่าเป็นสิ่งที่ถูกต้องและเข้าใจได้ง่าย 2) มีเหตุผลน่าเชื่อถือ ผู้เรียนต้องเห็นว่ามโนคติใหม่เข้าใจได้ดีและเชื่อว่าเป็นความจริง น่าเชื่อถือ สามารถเชื่อมโยงมโนคติใหม่กับมโนคติอื่น ๆ ที่มีอยู่เดิม และ 3) มีประโยชน์ ผู้เรียนต้องเห็นว่ามโนคติต้องมีประโยชน์ สามารถอธิบาย ทำนายแก้ปัญหา หรือชี้แนะวิธีการใหม่ ๆ ได้

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บเป็นกระบวนการสร้างความรู้ ทักษะ และเจตคติ โดยการดึงเอามโนคติหรือประสบการณ์เดิม แล้วกระตุ้นให้สะท้อนความคิดเกี่ยวกับประสบการณ์นั้น ๆ ออกมาเพื่อเป็นความรู้หรือมโนคติใหม่ ทำให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป รูปแบบการเรียนรู้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์โดยการลงมือปฏิบัติอย่างมีขั้นตอน และมีการไตร่ตรองประสบการณ์ที่ได้รับ เพื่อนำไปสู่การสรุปเป็นองค์ความรู้ด้วยตนเอง มีผู้สอนเป็นผู้ชี้แนะแนวทางและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน ประกอบด้วยองค์ประกอบหรือขั้นตอน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกรับรู้จากประสบการณ์จริง ใช้ความรู้สึกรับรู้ข้อมูล เรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เช่น การเรียนการสอนในห้องเรียน การอ่านหนังสือ การดูวีดิทัศน์ การทดลอง และการพูดคุยและประชุม 2) การสะท้อนคิดจากการสังเกต เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เป็นการเรียนรู้จากการดู การสังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำความเข้าใจ ใช้เวลาไตร่ตรองเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน เช่น การเขียนสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ การบันทึกการเรียนรู้ การทำการบ้าน และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้เรียน 3) การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด จากการสังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นแนวคิดของตนเอง เป็นการเรียนรู้จากการคิดหลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะคิดหาข้อสรุปเป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือกฎเกณฑ์ เช่น การเขียนแผนภาพมโนคติ การสรุปการเรียนรู้ออกมาเป็นรูปแบบหรือกรอบแนวคิด และการนำเสนอผลการเรียนรู้ของผู้เรียน และ 4) การทดลองปฏิบัติจริง เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ เป็นการเรียนรู้จากการลงมือทำ ผู้เรียนจะนำประสบการณ์หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ เช่น สิ่งที่จะต้องเรียนรู้ต่อไป แนวทางในการพัฒนาต่อหรือศึกษาต่อ รวบรวมสิ่งที่เรียนรู้ถูกต้องหรือผิดพลาดเพื่อดำเนินการเรียนรู้ในขั้นตอนที่ 1 และการทำโครงงานแบบฝึกหัด การบ้าน รวมทั้งการอภิปรายกลุ่ม

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เพื่อพัฒนามโนคติและสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้แบบทดสอบวัดมโนคติ แบบสัมภาษณ์ และแบบสำรวจความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อวัดและประเมินพฤติกรรมทั้งด้านความรู้ ได้แก่ ความรู้ ความจำ ความเข้าใจ และการวิเคราะห์ ก่อนเรียนและหลังเรียน และด้านความพึงพอใจของผู้เรียน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานของนักวิจัยท่านอื่นเพื่อค้นหาข้อค้นพบต่าง ๆ และค้นหาแนวคิดในการทำวิจัย โดยผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีการกระบวนกร ขั้นตอนต่าง ๆ ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าและยอมรับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ใหม่ เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียน โดยจากงานวิจัยของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ได้เสนอรูปแบบการพัฒนามโนคติว่ามีเงื่อนไข 3 ประการ ที่แนวความคิดใหม่จะบูรณาการเข้ากับแนวความคิดเดิมได้ โดยองค์ประกอบของมโนคติใหม่ต้องมีองค์ประกอบ คือ 1) มโนคติใหม่เข้าใจได้ง่าย 2) มีเหตุผลน่าเชื่อถือ และ 3) เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และได้เสนอยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์ในการสอนควรจะต้องประกอบด้วย 4 ยุทธศาสตร์ ประกอบด้วย 1) การบูรณาการ 2) การแยกความแตกต่าง 3) การแลกเปลี่ยน และ 4) การเชื่อมประสานการรับรู้มโนคติ ทั้ง 4 ยุทธศาสตร์และเงื่อนไข 3 ประการของมโนคติใหม่นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนามโนคติเดิมสู่มโนคติใหม่ที่ถูกต้อง สมบูรณ์ ช่วยทำให้นักเรียนมีมโนคติที่ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยเกี่ยวกับการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติที่คลาดเคลื่อนนั้นมีการนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาใช้จัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยา ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจกับเนื้อหาที่เรียนได้ชัดเจน และมีมโนคติที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของพิชา ชัยจันดี และ วรณจรี มั่งสิงห์ (2552) และวรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้ (2556) เรื่อง เซลล์ ของพรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ (2553) เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์ ของสุนิษา คำสะอาด (2558) เรื่อง การสืบพันธุ์ของพืชดอก ของปวีณา งามชัด (2556) และในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ (กฤตธรรม แพนล้นฟ้า และคนอื่น ๆ, 2561; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562; อิศราพร เภรินทวงศ์, 2557) แต่จากการศึกษาวิจัยของเสาวนีย์ สังฆะชี (2554) พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ (2553) และอรรถพล พลอยมีค่า (2562) พบว่ายุทธศาสตร์การสอนของ ฮิวสันและฮิวสัน (2003) ไม่มีรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้อย่าง

ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างมโนคติ ทำให้ครูผู้สอนไม่สามารถจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติได้สมบูรณ์เท่าที่ควร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ให้ชัดเจน หรือนำรูปแบบหรือการจัดการเรียนรู้อื่นที่มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนมาประยุกต์เข้ากับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติของตามยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ (Kolb, 1984, 2014) เป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่มีลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติ (Posner et al., 1982) สามารถนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นได้อย่างชัดเจนจนสร้างมโนคติใหม่ได้ ประกอบด้วยขั้นตอนหรือองค์ประกอบการเรียนรู้ 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม และขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสอนในวิชาชีพครูและอื่น ๆ พบว่า มีผู้วิจัยที่ได้ใช้รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์แล้วบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทวีพิสิริ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา และคนอื่น ๆ, 2564; นงนุช เสือพุ่มี และคนอื่น ๆ, 2560) โดยมาประยุกต์ใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ที่ไม่มีรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจน ทำให้ครูผู้สอนสามารถจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติได้อย่างสมบูรณ์ และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามโนคติ ในวิชาชีพครู เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ์ พบว่า ยังไม่มีการนำมาใช้ร่วมกันในการจัดการเรียนรู้อีกด้วย

วิธีและเครื่องมือวัดมโนคติมีหลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของปิตุพงษ์ ท่าค้อ (2557) สิริมา มิ่งเมือง (2560) Treagust and Haslam (1986) และ Lim and Poo (2021) ที่สร้างและพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัย (diagnostic test) หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น (two-tier multiple choice test) แบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น (three-tier multiple choice test) และแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น (four-tier multiple choice test) (Gurel, 2015) ผลการศึกษาพบว่า แบบทดสอบสามารถบอกถึงมโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ เนื่องจากช่วยทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ครูต้องการให้ผู้เรียนรู้หรือเรียนรู้กับสิ่งที่พวกเขารู้หรือเรียนรู้จริง ๆ นอกจากนี้ยังมีการวัดและประเมินโดยใช้แบบทดสอบประเภทต่าง ๆ เช่น แบบสัมภาษณ์มโนคติ (interview form) (Adadan &

Savasci, 2012; Rollnick & Mahooana, 1999; Sadler, 1998; Tongchai et al., 2009; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560) แบบทดสอบชนิดถูกผิด (สิริมา มิ่งเมือง, 2560) แบบทดสอบชนิดเขียนตอบแบบปลายเปิด (Al-Rubayea, 1996) และแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560; สิริมา มิ่งเมือง, 2560) โดยจากงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดกลุ่มมโนคติเพื่อใช้เป็นเกณฑ์การให้คะแนน มีผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษา มโนคติและจัดจำแนกมโนคติออกเป็นหลายประเภท ตัวอย่างเช่น การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 4 กลุ่ม (Brickhouse et al., 2000; Marek et al., 1990; ชาตรี สำราญ, 2544) การจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 5 กลุ่ม (Abraham et al., 1994; Simpson & Marek, 1988; Westbrook & Marek, 1992) และการจัดกลุ่มมโนคติออกเป็น 6 กลุ่ม (Abraham et al., 1992) โดยพบว่า แบบทดสอบวินิจฉัยมโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนชนิดตัวเลือกสี่ลำดับขั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้วินิจฉัยมโนคติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน เนื่องจากทำให้ครูได้ข้อสังเกตอย่างครบถ้วน ได้ข้อมูลเชิงวินิจฉัยมโนคติที่หลากหลาย แม้ว่าผู้เรียนจะมีโอกาสในการเดาคำตอบได้ แต่การตรวจให้คะแนนและการวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ง่าย และที่สำคัญสามารถจำแนกได้ว่าการที่ผู้ตอบตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนหรือตอบผิดเพราะไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560)

จากการศึกษาของนักวิจัยเพื่อค้นหาข้อค้นพบต่าง ๆ และค้นหาแนวคิดในการทำวิจัยดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการพัฒนา มโนคติด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 รายวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อพัฒนา มโนคติของนักเรียนให้เกิดความเข้าใจมโนคติที่ถูกต้องและลดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสำหรับการศึกษาการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้า แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัย
2. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย
4. รูปแบบที่ใช้ในการวิจัย
5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
6. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
7. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
8. วิธีการจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล
9. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
10. จริยธรรมการวิจัย

1. กำหนดกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานครเขต 2 ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เป็นนักเรียนที่สมัครใจและเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ตามระยะเวลาวิจัยจำนวนทั้งหมด 32 คน โดยใช้จำนวนจากงานวิจัยของพิชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์ (2552) กลุ่มศึกษาดังกล่าวเป็นนักเรียนที่มีอายุ 16-17 ปี มีผลการเรียนเฉลี่ยวิชาชีววิทยาจากทุกภาคเรียนที่ผ่านมามาก่อน เรียนหัวข้อ เรื่อง เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เซลล์และการทำงานของเซลล์ และโครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอกมาแล้ว เนื่องจากพบว่าการศึกษา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางชีววิทยาและเคมี และยังเชื่อมโยงกับเรื่องอื่นในวิชาชีววิทยา (Gerdol et al., 2008; Tekkaya et al., 2001; อังคณา ปัทมพงศา, 2555) และไม่มี การเรียนรู้เพิ่มเติมภายนอกโดยสถาบันกวดวิชามาก่อน

2. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551; สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สารชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง กำหนดเนื้อหา ประกอบด้วย 7 มโนคติ ดังนี้

- 1) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์
- 2) พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง
- 3) ปฏิกิริยาแสง
- 4) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) โฟโตเรสไพเรชัน
- 6) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 7) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยสร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ ดำเนินการสอนโดยใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 15 คาบ ๆ ละ 50 นาที จำนวน 3 คาบต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ และทดสอบก่อนและหลังเรียน จำนวน 2 คาบ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ภายนอกเวลาจากในชั้นเรียน โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนเอง แบ่งระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

- 1) การเรียนจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 1.1) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ 1 คาบ
 - 1.2) พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง 2 คาบ
 - 1.3) ปฏิกิริยาแสง 3 คาบ
 - 1.4) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3 คาบ
 - 1.5) โฟโตเรสไพเรชัน 1 คาบ

- 1.6) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 คาบ
- 1.7) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง 3 คาบ
- 2) การทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 - 2.1) การทดสอบก่อนเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง 1 คาบ
 - 2.2) การทดสอบหลังเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง 1 คาบ

4. รูปแบบที่ใช้ในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยขั้นต้น (pre-experimental research) โดยผู้วิจัยใช้แบบแผนการทดลองแบบกลุ่มทดลองกลุ่มเดียว วัดผลก่อนและหลังการทดลอง (one-group pretest-posttest design) มีลักษณะแบบแผนดังตาราง 4

ตาราง 4 แบบแผนการทดลอง

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
E	O ₁	X	O ₂
กำหนดให้ E	แทน	กลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัย	
O ₁	แทน	ความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนเรียน	
X	แทน	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสัน และฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ	
O ₂	แทน	ความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียน	

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

- 1) แผนการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ จำนวน 7 แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

2) แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบทดสอบวินิจฉัย ตัวเลือกสองลำดับชั้น (two-tier multiple choice diagnostic test) ประเภทแบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบจำนวน 5 ตัวเลือก และให้เหตุผลในการเลือกตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยครอบคลุม ทั้ง 7 มโนคติที่ศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3) แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจ มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4) แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์ การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมที่ผู้วิจัย สร้างขึ้น

6. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

6.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของ ฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม จำนวน 7 แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแผนการเรียนรู้ ตามขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาหนังสือ เอกสาร วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดย ใช้วิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติด้วยยุทธศาสตร์การสอนตามแนวคิดของฮิวสันและฮิวสัน (2003) รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม และความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ ด้วยแสง

2) ศึกษาเนื้อหาวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จากหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการ เรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊ส และคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการ เจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) และกำหนดเป็นกรอบมโนคติ 7 มโนคติ ดังตาราง 5 (วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556; สถาบัน ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562a, 2562b; สิริมา มิ่งเมือง, 2560)

ตาราง 5 กรอบมโนมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง 7 มโนมติ

มโนมติที่	เรื่อง	กรอบมโนมติ	จุดประสงค์การเรียนรู้
1	โครงสร้างของคลอโรพลาสต์	คลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดจะอยู่บนเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาแสง และภายในคลอโรพลาสต์มีของเหลวเรียกว่า สโตรมา (stroma) มีเอนไซม์จำนวนมาก จึงเป็นบริเวณที่เกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	อธิบายความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ได้
2	พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง	สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีสารสีชนิดต่าง ๆ ที่ช่วยในการดูดกลืนแสง โดยสารสีต่างกันจะดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นต่างกัน ส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในทุกความยาวคลื่น สารสีที่สำคัญที่สุด คือคลอโรฟิลล์ เอ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยา และมีสารสีอื่นที่ช่วยในการดูดกลืนพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปยังศูนย์กลางของปฏิกิริยา	1. อธิบายชนิดและหน้าที่ของสารสีได้ 2. อธิบายความสัมพันธ์ของพลังงานแสงและสารสี กับ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้
3	ปฏิกิริยาแสง	ปฏิกิริยาแสง (light reaction) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดขึ้นที่เยื่อไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ในขณะที่ได้รับพลังงานแสง ปฏิกิริยาแสงมีกลุ่มของสารสีเข้าร่วมในปฏิกิริยา 2 พวก ได้แก่ ระบบแสง I (photosystem I) และระบบแสง II (photosystem II) ปฏิกิริยาแสงมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer) ผลของปฏิกิริยาแสงทำให้เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีในรูปของ ATP และ NADPH	อธิบายและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรได้

ตาราง 5 (ต่อ)

มโนมติที่	เรื่อง	กรอบมโนมติ	จุดประสงค์การเรียนรู้
4	ปฏิกิริยา การตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์	ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ fixation) เป็นกระบวนการที่พืชนำ พลังงานเคมีที่ได้จากปฏิกิริยาแสงในรูป ของ ATP และ NADPH มาใช้ในการสร้าง สารอินทรีย์โดยพืช C ₃ เกิดปฏิกิริยาจาก Ribulose-1,5-bisphosphate หรือ RuBP รวมกับ CO ₂ ทำให้เกิดเป็นสารที่มี คาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล เกิดการ เปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน สารบาง โมเลกุลถูกนำมาสร้างสารอินทรีย์และบาง โมเลกุลเปลี่ยนแปลงย้อนกลับไปเป็น RuBP เพื่อกลับไปตรึง CO ₂ อีกครั้ง เรียกว่า วัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle)	อธิบายการเกิดปฏิกิริยา การตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ของ พืชในกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงได้
5	โฟโตเรสไพเรชัน	โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นที่สโตรมา ใน ขั้นตอนการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเมื่อมีแก๊สออกซิเจนสูง โดยแก๊ส ออกซิเจนรวมตัวกับ RuBP แทนที่แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นสารที่จะ นำไปใช้ในการสร้างน้ำตาลได้น้อย แต่มี ประโยชน์กรณีพืชสร้าง ATP มากเกินไป จะทำให้ใช้หมดไป แตกต่างจากกระบวนการ การหายใจ ซึ่งการหายใจเป็นการสลาย สารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน เป็น กระบวนการสร้าง ATP	1. อธิบายความสัมพันธ์ ระหว่างโฟโตเรสไพเร- ชันกับกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงได้ 2. เปรียบเทียบความ แตกต่างของโฟโตเรส- ไพเรชันกับการหายใจได้
6	การเพิ่มความ เข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄ นั้นเกิดจาก โครงสร้างของใบที่ต่างจากพืช C ₃ โดย เซลล์ชั้นบันเดิลชีท (bundle sheath) ที่อยู่ รอบท่อลำเลียงและเชื่อมติดกับชั้นมีโซ ฟิลล์ (mesophyll) และภายในมีคลอโรพ ลาสต์อยู่ ทำให้การตรึง	อธิบายและเปรียบเทียบ ความเหมือนและความ แตกต่างของการ สังเคราะห์ด้วยแสงของ พืช C ₃ , C ₄ และ CAM ได้

ตาราง 5 (ต่อ)

มโนมติที่	เรื่อง	กรอบมโนมติ	จุดประสงค์การเรียนรู้
6 (ต่อ)	การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น 2 ครั้ง พืชซีเอเอ็ม (Crassulacean Acid Metabolism: CAM) เป็นพืชที่ทนแล้งและมีลักษณะอวบน้ำ ปากใบจะปิดเวลากลางวันและเปิดเวลากลางคืน มีกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์คล้ายกับพืช C_4 เพียงแต่กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเกิดภายในเซลล์เดียวกัน คือ เซลล์มีโซฟิลล์	
7	ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	แสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะความเข้มแสง พืชจะมี light compensation point คือ ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มแสง (light saturation point) คือจุดที่เพิ่มความเข้มแสงแล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น พืช C_3 มีจุดทั้งสองต่ำกว่าพืช C_4 แต่ถ้าความเข้มแสงมาก ๆ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในพืชทั้งสองชนิด ส่วนพืชในที่ร่มใช้แสงปริมาณน้อยก็เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงมี light compensation point ต่ำกว่าพืชในที่แจ้ง ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลเช่นเดียวกันกับความเข้มแสง พืชมี CO_2 compensation point คือ ความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 saturation point) คือจุดที่เพิ่มความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น โดยพืช C_4 มีจุดทั้งสองต่ำกว่าพืช C_3	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

3) ศึกษาหนังสือ เอกสาร วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ โดยวิเคราะห์เนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรม รายวิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

4) ออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสัน และฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ โดยกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ เนื้อหาที่กำหนดไว้ และสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย กระบวนการและขั้นตอนของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ (Kolb, 1984, 2014) ทั้งหมด 4 ขั้นตอน ผสมผสานกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience)

ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกจากประสบการณ์จริง (experiencing) ใช้ความรู้สึกในการรับรู้ข้อมูล เรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม โดยผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนรู้ว่ามีแนวคิดเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์

ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต (reflective observation)

ผู้เรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (reflecting) เป็นการเรียนรู้จากการดู การสังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำความเข้าใจ ใช้เวลาไตร่ตรองเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract conceptualization)

ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด จากการสังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นแนวคิดของตนเอง (thinking) เป็นการเรียนรู้จากการคิดหลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะคิดหาข้อสรุปเป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือกฎเกณฑ์ โดยผู้เรียนจะเกิดกระบวนการปรับปรุงแนวคิดเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามีแนวคิดเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับแนวคิดใหม่ได้ในที่สุด

ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation)

ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ (acting) เป็นการเรียนรู้จากการลงมือทำ (doing) โดยผู้เรียนจะนำประสบการณ์หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ จนทำให้ผู้เรียนเห็นว่ามีแนวคิดใหม่นั้นมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้และมีประโยชน์กับผู้เรียน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยแบ่งตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 7 แผนการเรียนรู้
ดังตาราง 6

ตาราง 6 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยแบ่งตามแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	เนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้	จำนวนคาบเรียน
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	โครงสร้างของคอลโรพลาสต์	1
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง	2
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	ปฏิกิริยาแสง	3
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	3
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	โฟโตเรสไพเรชัน	1
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	2
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	3
รวม		15

5) ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของกิจกรรมการเรียนรู้กับจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหา

6) สร้างแบบประเมินคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 กำหนดความหมายของคะแนนในแบบประเมินคุณภาพแต่ละข้อดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

- ระดับ 5 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับมากที่สุด
- ระดับ 4 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับมาก
- ระดับ 3 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับปานกลาง
- ระดับ 2 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับน้อยที่สุด

7) นำแผนการจัดการเรียนรู้เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ชีววิทยา จำนวน 3 ท่าน และชีววิทยาศึกษา จำนวน 2 ท่าน รวมจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบและประเมิน ความสอดคล้อง เพื่อหาข้อบกพร่อง ให้คำแนะนำ แก้ไข และพิจารณาความถูกต้องของเนื้อหา

8) นำผลจากการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแผนการจัดการ เรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จาก ประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มาพิจารณาค่าเฉลี่ย โดยกำหนดเกณฑ์ใน การแปลความหมายของคะแนนดังนี้ (สิริมา มิ่งเมือง, 2560)

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับมากที่สุด

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับมาก

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับปานกลาง

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับน้อย

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความสอดคล้องในระดับน้อยที่สุด

เกณฑ์ในการยอมรับความสอดคล้องที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของ คอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่สร้างขึ้นต้องมีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.51 ขึ้นไป หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมาก ถือว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกัน (วิเชียร เกตุสิงห์, 2538)

จากการประเมินคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 มากกว่า 3.51 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด และถือว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็น สอดคล้องกัน มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้และสามารถนำไปใช้ได้

9) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญเรียบร้อยแล้ว มาปรับปรุงแก้ไขและนำไปใช้กับกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

6.2 แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิจัยใน ครั้งนี้เป็นแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นแบบทดสอบ วินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น ประกอบด้วยแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 5 ตัวเลือก และให้เหตุผลในการเลือกตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้นและปรับปรุงมาจากข้อคำถาม ในแบบสำรวจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของปิตุพงษ์ ทำค้อ (2557) ร่วมกับแบบวัด แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของสิริมา มิ่งเมือง (2560) และ Diagnostic

test of photosynthesis ของ Treagust and Haslam (1986) และ Lim and Poo (2021) ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบทดสอบ ตามขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาหลักสูตร คู่มือครู เนื้อหารายวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืชการสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความเข้าใจมโนติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบทดสอบวัดมโนติ

2) วิเคราะห์มโนติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยได้มโนติหลักที่ศึกษา 7 มโนติ

3) จัดทำตารางวิเคราะห์มโนติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อเป็นกรอบในการสร้างแบบทดสอบวัดมโนติ

4) สร้างแบบทดสอบวัดมโนติ เป็นแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับชั้น แบบปรนัยและเติมเหตุผลในการเลือกตอบ โดยในหนึ่งข้อจะมีอยู่ 2 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 จะเป็นข้อคำถามและมีคำตอบเป็นตัวเลือก 5 ตัวเลือก

ส่วนที่ 2 เป็นเหตุผลที่เลือกตอบในส่วนที่ 1 ว่าทำไมถึงเลือกตอบตัวเลือกดังกล่าว ซึ่งส่วนที่ 2 จะเป็นคำตอบปลายเปิดที่ให้เติมเหตุผล

โดยศึกษาทั้งมโนติ 7 มโนติ สร้างแบบทดสอบมโนติละ 3 - 5 ข้อ ได้ข้อสอบทั้งหมด 30 ข้อ

5) นำแบบทดสอบวัดมโนติเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ชีววิทยา จำนวน 3 ท่าน และชีววิทยาศึกษา จำนวน 2 ท่าน รวมจำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจพิจารณาความถูกต้อง ความชัดเจนของเนื้อหา และความถูกต้องในการใช้ภาษา รวมทั้งความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยหาความตรงเชิงเนื้อหาจากการพิจารณาให้ความคิดเห็นและให้คะแนนที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 โดยกำหนดความหมายของคะแนนในแบบประเมินความสอดคล้องแต่ละข้อดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง มีความสอดคล้องหรือเมื่อแน่ใจว่าข้อสอบข้อนั้น
เป็นตัวแทนในการทดสอบเนื้อหาของมโนมิตินั้น ๆ
ในระดับมากที่สุด
- ระดับ 4 หมายถึง มีความสอดคล้องหรือเมื่อแน่ใจว่าข้อสอบข้อนั้น
เป็นตัวแทนในการทดสอบเนื้อหาของมโนมิตินั้น ๆ
ในระดับมาก
- ระดับ 3 หมายถึง มีความสอดคล้องหรือเมื่อแน่ใจว่าข้อสอบข้อนั้น
เป็นตัวแทนในการทดสอบเนื้อหาของมโนมิตินั้น ๆ
ในระดับปานกลาง
- ระดับ 2 หมายถึง มีความสอดคล้องหรือเมื่อแน่ใจว่าข้อสอบข้อนั้น
เป็นตัวแทนในการทดสอบเนื้อหาของมโนมิตินั้น ๆ
ในระดับน้อย
- ระดับ 1 หมายถึง มีความสอดคล้องหรือเมื่อแน่ใจว่าข้อสอบข้อนั้น
เป็นตัวแทนในการทดสอบเนื้อหาของมโนมิตินั้น ๆ
ในระดับน้อยที่สุด

จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวมในแต่ละข้อเพื่อ
คำนวณหาค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเป็นรายข้อ โดยถ้าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ
3.51 ถือว่าข้อสอบนั้นเป็นตัวแทนของมโนมิตีที่จะทำการทดสอบได้ และถ้าข้อสอบข้อใดมีค่าเฉลี่ย
ต่ำกว่า 3.51 ถือว่าข้อสอบนั้นถูกตัดออกไปหรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ดีขึ้นตามคำแนะนำของ
ผู้เชี่ยวชาญ (วิเชียร เกตุสิงห์, 2538) โดยพิจารณาคัดเลือกข้อสอบให้เหลือจำนวน 20 ข้อที่มีค่าเฉลี่ย
ผ่านเกณฑ์และครอบคลุมเนื้อหาทั้ง 7 มโนมิตีที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความตรงเชิงเนื้อหาจากการหาค่าเฉลี่ยความสอดคล้อง พบว่า
ค่าเฉลี่ยของคะแนนแต่ละข้ออยู่ในช่วง 4.00 - 5.00 และรวมทั้งฉบับเท่ากับ 4.80 มากกว่า 3.51 ถือ
ว่าข้อสอบนั้นเป็นตัวแทนของมโนมิตีที่จะทำการทดสอบได้

6) ตรวจสอบความเข้าใจในภาษา การสื่อความหมายของคำถาม และระยะเวลาที่
ใช้ในการทำแบบทดสอบ โดยนำแบบทดสอบวัดมโนมิตีที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้ (try out)
กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 40
คน เป็นเวลา 1 คาบ (50 นาที) ที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา ซึ่งเคยเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มาแล้ว

7) ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนตาม การจัดระดับความเข้าใจโมติตามเกณฑ์ของ Abraham et al. (1994) ที่แบ่งออกเป็น 5 ระดับ และทำการวิเคราะห์แบบทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีความยากง่ายและค่าดัชนีอำนาจจำแนกของข้อสอบ เป็นรายข้อ ทำการวิเคราะห์เป็นแบบทดสอบอัตรันัยตามวิธีของ Whitey and Sabers (1970) โดยใช้ หลักการ 25% ของจำนวนกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

7.1) หาค่าดัชนีความยากง่าย (index of difficulty: p) ของแบบทดสอบปรนัย และเติมเหตุผลในการเลือกตอบ โดยหาค่าดัชนีความยากง่ายตามแบบทดสอบอัตรันัยเป็นรายข้อที่ ภายหลังได้ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน และจัดเรียงลำดับคะแนนจากสูงที่สุดไปต่ำสุด แล้วแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสูงหรือกลุ่มเก่ง 25% และกลุ่มต่ำหรือกลุ่มอ่อน 25% จาก นักเรียนทั้งหมด 40 คน นำคะแนนที่ได้มาแทนค่าในสูตรเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความยากง่าย

7.2) หาค่าดัชนีอำนาจจำแนกของข้อสอบ (index of discrimination: r) ของ แบบทดสอบปรนัยและเติมเหตุผลในการเลือกตอบ โดยหาค่าดัชนีความยากง่ายตามแบบทดสอบ อัตรันัยเป็นรายข้อที่ภายหลังได้ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน และจัดเรียงลำดับคะแนน จากสูงที่สุดไปต่ำสุดแล้วแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสูงหรือกลุ่มเก่ง 25% และกลุ่มต่ำหรือกลุ่ม อ่อน 25% จากนักเรียนทั้งหมด 40 คน นำคะแนนที่ได้มาแทนค่าในสูตรเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีอำนาจ จำแนก

กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกข้อสอบดังนี้ ค่าความยากง่าย (p) 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไปถึง 1.00

8) หาค่าความเชื่อมั่นหรือความเที่ยง (reliability: R) ของแบบทดสอบปรนัยและ เติมเหตุผลในการเลือกตอบ โดยหาค่าความเชื่อมั่นตามแบบทดสอบอัตรันัยทั้งฉบับที่ภายหลังนำไป ทดลองใช้กับผู้เรียนเพียงครั้งเดียวและตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน โดยหาค่าความ เชื่อมั่นแบบสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) (Cronbach, 1951) กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ได้คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป

จากการวิเคราะห์แบบทดสอบภายหลังนำไปทดลองใช้กับผู้เรียน พบว่า ข้อสอบ แต่ละข้อมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ในช่วง 0.38 - 0.73 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ในช่วง 0.23 - 0.63 และค่าความเชื่อมั่น (R) แบบสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาคเท่ากับ 0.85 ถือว่าแบบทดสอบมี คุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้และใช้ทำการทดสอบได้

9) นำแบบทดสอบวัดมโนคติที่ผ่านการทดลองใช้แล้วปรับปรุงแก้ไขและนำไปใช้ กับกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

6.3 แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) ใช้สำหรับการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บหลังเรียน โดยมีประเด็นคำถามซึ่งผู้วิจัยกำหนดขึ้นก่อนสัมภาษณ์เพื่อให้ นักเรียนอธิบายความคิดของตนเองให้ชัดเจนขึ้น และจะให้อิสระในการตอบคำถามแก่นักเรียน ผู้สัมภาษณ์ไม่ตัดสินว่าถูกหรือผิด เพียงแต่ใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนแสดงความเข้าใจตามความคิดของตนเองให้ชัดเจนขึ้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบสัมภาษณ์ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาหนังสือ เอกสาร วารสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง
- 2) กำหนดวัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์
- 3) กำหนดประเด็นที่ศึกษา เพื่อสร้างกรอบคำถามหลักและคำถามสำรองที่สอดคล้องกับมโนคติทั้ง 7 มโนคติ
- 4) สร้างแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง
- 5) เสนอแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ชีววิทยา จำนวน 3 ท่าน และชีววิทยาศึกษา จำนวน 2 ท่าน รวมจำนวน 5 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความสอดคล้องแต่ละข้อคำถามในการสัมภาษณ์ให้ครอบคลุมเนื้อหาครบถ้วน ข้อคำถามถูกต้องเหมาะสม ตรงตามโครงสร้าง และภาษาที่ใช้เหมาะสมกับผู้ให้ข้อมูล โดยหาค่าความตรงของแบบสัมภาษณ์จากการพิจารณาให้ความคิดเห็นและให้คะแนนที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1
- 6) จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวมในแต่ละข้อคำถาม เพื่อกำหนดค่าความตรงของแบบสัมภาษณ์เป็นรายข้อ โดยถ้าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 3.51 ถือว่าข้อคำถามนั้นมีความตรงสามารถนำไปใช้ได้ และถ้าข้อคำถามข้อใดมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3.51 ถือว่าข้อคำถามนั้นถูกตัดออกไปหรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ดีขึ้นตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ (วิเชียร เกตุสิงห์, 2538)

จากการวิเคราะห์ความตรงของแบบสัมภาษณ์ พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยของแต่ละข้อคำถามอยู่ในช่วง 4.00 - 5.00 และรวมทั้งฉบับเท่ากับ 4.94 มากกว่า 3.51 ถือว่าแบบสัมภาษณ์มีความตรงสามารถนำไปใช้ได้

- 7) นำแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างไปทดลองใช้ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข
- 8) จัดพิมพ์เป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างฉบับจริง และนำไปใช้กับกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

6.4 แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบสำรวจมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert scale) เพื่อสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาหนังสือ เอกสาร วารสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจ
- 2) กำหนดจุดประสงค์ในการสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจ โดยผู้วิจัยกำหนดที่จะตรวจสอบความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล
- 3) สร้างข้อคำถามให้ครอบคลุมถึงเนื้อหาตามกรอบแนวคิดของการวิจัย และจัดทำแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 ต่อ 1 คำถาม โดยกำหนดความหมายของคะแนนในแบบสำรวจแต่ละข้อดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

ระดับ 5 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก

ระดับ 3 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

สรุปผลโดยการหาค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวมในแต่ละข้อคำถามเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดในการแปลความหมายของคะแนนดังนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

4) เสนอแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ชีววิทยา จำนวน 3 ท่าน และชีววิทยาศึกษา จำนวน 2 ท่าน รวมจำนวน 5 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของรายการประเมินในการสำรวจให้ครอบคลุมทั้ง 4 ด้าน โดยหาค่าความตรงของแบบสำรวจจากการพิจารณาให้ความคิดเห็นและให้คะแนนที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1

5) จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวมในแต่ละรายการ ประเมินเพื่อคำนวณหาค่าความตรงของแบบสำรวจเป็นรายข้อ โดยถ้าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มากกว่า หรือเท่ากับ 3.51 ถือว่ารายการประเมินนั้นมีความตรงสามารถนำไปใช้ได้ และถ้ารายการประเมินข้อใดมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3.51 ถือว่ารายการประเมินนั้นถูกตัดออกไปหรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ดีขึ้น ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ (วิเชียร เกตุสิงห์, 2538)

จากการวิเคราะห์ความตรงของแบบสำรวจ พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยของแต่ละรายการประเมินอยู่ในช่วง 4.00 - 5.00 และรวมทั้งฉบับเท่ากับ 4.96 มากกว่า 3.51 ถือว่าแบบสำรวจมีความตรงสามารถนำไปใช้ได้

6) จัดพิมพ์เป็นแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ฉบับจริง และนำไปใช้กับกลุ่มศึกษาที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

7. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เป็นการศึกษาเชิงทดลองตามรูปแบบกลุ่มเดียว วัดผลก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 5 สัปดาห์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ตามขั้นตอนดังนี้

1) ชี้แจงนักเรียนถึงขอบเขตการวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการภายใต้หลักจริยธรรมการวิจัย 3 ประการ ได้แก่ หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่อให้เกิดอันตราย หลักความยุติธรรม โดยแจ้งเอกสารการวิจัยและขอการยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย

2) ทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการจัดการเรียนรู้ (pretest) ด้วยแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จำนวน 20 ข้อ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา โดยใช้เวลา 1 คาบ (50 นาที)

3) ทำการทดลองโดยดำเนินการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน ตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จำนวน 7 แผนการจัดการเรียนรู้ เวลา 15 คาบ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ๆ ละ 3 คาบ ๆ ละ 50 นาที รวม 750 นาที

4) เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการจัดการเรียนรู้ โดยให้กลุ่มที่ศึกษาทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ (posttest) ด้วยแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นแบบทดสอบฉบับเดียวกับแบบทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เวลา 1 คาบ (50 นาที) และประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้เวลาประมาณคนละ 10 - 15 นาที

5) ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนจากแบบทดสอบวัดมโนคติ และแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จากนั้นนำผลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

6) สัมภาษณ์นักเรียนด้วยแบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจมโนคติเพิ่มเติมหลังการจัดการเรียนรู้เป็นรายบุคคล จำนวน 10 คน โดยใช้เวลาประมาณคนละ 20 - 30 นาที ซึ่งคัดเลือกตัวแทนจากกลุ่มที่ศึกษาโดยใช้หลักการ 25% จากการนำคะแนนทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้เรียงจากสูงที่สุดไปต่ำสุดแล้วแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสูง 25% และกลุ่มต่ำ 25% และเลือกนักเรียนจากทั้งกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำจำนวนกลุ่มละ 3 คน และนักเรียนที่ไม่ได้อยู่ในทั้งกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำอีกจำนวน 4 คน ที่มีคะแนนทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้คละกัน ในระหว่างการสัมภาษณ์ผู้วิจัยทำการจดและบันทึกเสียงการสัมภาษณ์ จากนั้นถอดบทสัมภาษณ์เพื่อวิเคราะห์ประเด็นสำคัญที่ได้

8. วิธีการจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้และแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถิติพรรณนา ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล ตามขั้นตอนดังนี้

8.1 ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนของแบบทดสอบเป็นรายข้อ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนตามการจัดระดับความเข้าใจมโนคติตามเกณฑ์ของ Abraham et al. (1994) ที่แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังตาราง 7

ตาราง 7 เกณฑ์การประเมินตามระดับความเข้าใจนิมิต

ระดับความเข้าใจนิมิต	เกณฑ์การประเมิน
มโนคติในระดับที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU)	ตอบคำถามตรงตามนิมิตทางวิทยาศาสตร์ครบทุกองค์ประกอบของมโนคตินั้น
มโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding: PU)	ตอบคำถามตรงกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 2 องค์ประกอบของมโนคตินั้น แต่ไม่ครบทุกองค์ประกอบ
มโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific alternative conception: PS)	ตอบคำถามตรงกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ แต่มีคำตอบบางส่วนคลาดเคลื่อนจากมโนคติทางวิทยาศาสตร์
มโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (alternative conception: AC)	ตอบคำถามไม่ตรงกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์
ความไม่เข้าใจหรือไม่มีนิมิต (no understanding: NU or no conception: NC)	ตอบไม่ตรงคำถาม ไม่เขียนคำตอบหรือตอบทวนคำถาม หรือตอบที่แสดงว่าไม่รู้ไม่เข้าใจ

จากตาราง 7 ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความเข้าใจนิมิตดังนี้

- 1) ความเข้าใจนิมิตในระดับที่สมบูรณ์ (CU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้อง และการให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละมโนคติ ให้ 3 คะแนน
- 2) ความเข้าใจนิมิตในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้อง และการให้เหตุผลถูกต้องขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน ให้ 2 คะแนน
- 3) ความเข้าใจนิมิตในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้องบางส่วน แต่บางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเลือกคำตอบถูกต้องแต่ไม่อธิบายคำตอบ ให้ 1 คะแนน
- 4) ความเข้าใจนิมิตในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด ให้ 0 คะแนน
- 5) ความไม่เข้าใจหรือไม่มีนิมิต (NU/NC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม ให้ 0 คะแนน

โดยมีแนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบเพื่อตรวจให้คะแนนและจัดระดับความเข้าใจนิมิต เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง 7 มโนคติ ดังตาราง 8

ตาราง 8 แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบเพื่อตรวจให้คะแนนและจัดระดับความเข้าใจมโนคติ
เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง 7 มโนคติ

มโนคติที่	ระดับความเข้าใจ มโนคติ	แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบ
1	CU	อธิบายโครงสร้างของคลอโรพลาสต์จากใหญ่ไปเล็กได้ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของคลอโรพลาสต์กับหน้าที่ได้ครบถ้วนถูกต้อง
	PU	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของคลอโรพลาสต์กับหน้าที่ขาดไป 1 ใน 3 หรือบอกความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่คลอโรพลาสต์สร้างขึ้นไม่สัมพันธ์กับสารตั้งต้น
	PS	กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของคลอโรพลาสต์กับหน้าที่ขาดไป 2 ใน 3
	AC	ไม่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างคลอโรพลาสต์กับหน้าที่ และอธิบายสลับกัน เช่น คลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ
2	CU	อธิบายการเปลี่ยนแปลงสีของใบพืชเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ แต่ยังสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เพราะมีสารสีอื่นในการดูดกลืนแสง และอธิบายความสำคัญของคลอโรฟิลล์ เอ ว่าเป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยา ขาดไม่ได้
	PU	อธิบายการเปลี่ยนแปลงสีของใบพืชเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และอธิบายความสำคัญของคลอโรฟิลล์ เอ ว่าเป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยา
	PS	ใบพืชเปลี่ยนสี สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และใช้สารสีอื่นช่วยสังเคราะห์ด้วยแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ
	AC	ใบพืชเปลี่ยนสี ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และใช้สารสีอื่นแทนคลอโรฟิลล์ เอ ทำให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ
3	CU	อธิบายถึงตัวให้และรับอิเล็กตรอนบนเยื่อไทลาคอยด์ และเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักรได้สมบูรณ์

ตาราง 8 (ต่อ)

มโนมัติที่	ระดับความเข้าใจ มโนมัติ	แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบ
3 (ต่อ)	PU	อธิบายถึงตัวให้และรับอิเล็กตรอนบนเยื่อไทลาคอยด์ และเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักร ชาติใจความสำคัญบางส่วน เช่น การเกิดออกซิเจนจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร
	PS	อธิบายถึงตัวให้และรับอิเล็กตรอนบนคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใหญ่เกินไป ไม่จำเพาะเจาะจงและเปรียบเทียบสารที่เกิดจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักรได้ แต่ไม่สามารถอธิบายได้
	AC	กล่าวถึงการกระจายของตัวให้และรับอิเล็กตรอนไม่อยู่บนเยื่อไทลาคอยด์ และเปรียบเทียบสารที่เกิดจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักรสลับกัน
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ
4	CU	อธิบายตำแหน่ง เวลา และปฏิกิริยาหรือขั้นตอนการเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชได้ถูกต้องทั้งหมด
	PU	อธิบายตำแหน่ง เวลา และปฏิกิริยาหรือขั้นตอนการเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชได้ถูกต้อง 2 ใน 3
	PS	อธิบายตำแหน่ง เวลา และปฏิกิริยาหรือขั้นตอนการเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชได้ถูกต้อง 1 ใน 3
	AC	อธิบายตำแหน่ง เวลา และปฏิกิริยาหรือขั้นตอนการเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช ไม่ถูกต้องทั้งหมด
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ
5	CU	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตเรสไพเรชันกับการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเปรียบเทียบกับการหายใจว่าแตกต่างกัน
	PU	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตเรสไพเรชันกับการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเปรียบเทียบกับการหายใจว่าแตกต่างบางส่วนไม่ครบถ้วน

ตาราง 8 (ต่อ)

มโนมติที่	ระดับความเข้าใจ มโนมติ	แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบ
5 (ต่อ)	PS	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตเรสไพเรชันกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเปรียบเทียบกับการหายใจว่า แตกต่างกัน อย่างไรอย่างหนึ่ง
	AC	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตเรสไพเรชันกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเปรียบเทียบกับการหายใจว่า แตกต่างกันคลาดเคลื่อนทั้งหมด
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ
6	CU	อธิบายและเปรียบเทียบตำแหน่ง เวลา และจำนวนครั้งในการเกิดการ ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 , และ CAM ได้ถูกต้อง ทั้งหมด
	PU	อธิบายและเปรียบเทียบตำแหน่ง เวลา และจำนวนครั้งในการเกิดการ ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 , และ CAM ได้ถูกต้อง 2 ใน 3
	PS	อธิบายเปรียบเทียบตำแหน่ง เวลา และจำนวนครั้งในการเกิดการตรึง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 , และ CAM ได้ถูกต้อง 1 ใน 3
	AC	อธิบายและเปรียบเทียบตำแหน่ง เวลา และจำนวนครั้งในการเกิดการ ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 , และ CAM ไม่ถูกต้อง ทั้งหมด
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่ตอบแบบทดสอบ
	CU	อธิบายผลกระทบของความเข้มแสงและความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทั้ง 2 ปัจจัย
7	PU	อธิบายผลกระทบของความเข้มแสงและความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทั้ง 2 ปัจจัย แต่มีบางปัจจัย คลาดเคลื่อนเล็กน้อย
	PS	อธิบายผลกระทบของความเข้มแสงหรือความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เพียง 1 ปัจจัย
	AC	อธิบายผลกระทบของความเข้มแสงและความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้คลาดเคลื่อนทั้งหมด
	NU	ตอบไม่ตรงคำถามหรือไม่เขียนคำตอบ

จากนั้นรวบรวมคะแนนของนักเรียนเป็นรายบุคคลจากคะแนนของแบบทดสอบ 20 ข้อ คะแนนรวมทั้งฉบับ 60 คะแนน

8.2 วิเคราะห์คะแนนความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนทั้งกลุ่ม โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักเรียน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิตินอนพาราเมตริก (nonparametric statistics) ด้วยวิธีทดสอบวิลคอกซันสำหรับกลุ่มที่ศึกษาที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Wilcoxon matched pairs signed-rank test)

8.3 วิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจในมิติเพิ่มเติมหลังการจัดการเรียนรู้เป็นรายบุคคล จำนวน 10 คน ซึ่งคัดเลือกตัวแทนจากกลุ่มที่ศึกษาโดยใช้หลักการ 25% จากการนำคะแนนทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้เรียงจากสูงสุดไปต่ำสุดแล้วแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสูง 25% และกลุ่มต่ำ 25% และเลือกนักเรียนจากทั้งกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำจำนวนกลุ่มละ 3 คน และนักเรียนที่ไม่ได้อยู่ในทั้งกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำอีกจำนวน 4 คน ที่มีคะแนนทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้คู่กัน โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis)

8.4 ตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียน เพื่อหาพัฒนาการการเรียนรู้ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติโดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ด้วยคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบวัดมโนคติของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี normalized gain, $\langle g \rangle$ ทั้งรายบุคคล (individual normalized gain) และกลุ่ม (class normalized gain) (Hake, 1998)

8.5 วิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายข้อในแต่ละมิติ โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ และร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาระดับความเข้าใจในมติก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ

8.6 วิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อและทั้งชุดของแบบทดสอบ ใช้เกณฑ์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเพื่อจะได้ทราบจำนวนนักเรียนที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้ (ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557; พินา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552)

เกณฑ์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อ

จากคะแนนระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อ คะแนนเต็ม 3 คะแนน (CU) ได้แก่

1) ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติจากคะแนน 0 คะแนน (NU หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) หมายถึง นักเรียนมี การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติในข้อนั้น

2) ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) หมายถึง นักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติในข้อนั้น

เกณฑ์การพัฒนาคำถามความเข้าใจในมิติทั้งหมดของแบบทดสอบ ได้แก่

ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนามโนทัศน์เป็นรายข้อเท่ากับหรือเกิน 10 ข้อ จากทั้งหมด 20 ข้อ (มีการพัฒนามโนทัศน์รายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดของแบบทดสอบวัดมโนทัศน์) หมายถึง นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ

8.7 ตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

9. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์หาค่าทางสถิติเพื่อยืนยันคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นตามขั้นตอน และหลังจากเสร็จการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลแล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลตามการจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของเครื่องมือและทดสอบสมมติฐานดังนี้

9.1 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของเครื่องมือ

1) การหาค่าดัชนีความยากง่าย (index of difficulty: p) แต่ละข้อของแบบทดสอบวัดมโนทัศน์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยคำนวณจากสูตรของ Whitney and Sabers (1970) ได้แก่

$$p = \frac{S_H + S_L - 2(N \times X_{\min})}{2N(X_{\max} - X_{\min})}$$

เมื่อ	p	แทน	ค่าดัชนีความยากง่าย
	S_H	แทน	ผลรวมคะแนนของกลุ่มสูง
	S_L	แทน	ผลรวมคะแนนของกลุ่มต่ำ
	N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ
	$X_{\max}$	แทน	คะแนนสูงสุดในข้อนั้น
	$X_{\min}$	แทน	คะแนนต่ำสุดในข้อนั้น

2) การหาค่าดัชนีอำนาจจำแนก (index of discrimination: r) แต่ละข้อของแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยคำนวณจากสูตรของ Whitney and Sabers (1970) ได้แก่

$$D = \frac{S_H - S_L}{N(X_{\max} - X_{\min})}$$

เมื่อ	D	แทน	ค่าดัชนีอำนาจจำแนก
	S_H	แทน	ผลรวมคะแนนของกลุ่มสูง
	S_L	แทน	ผลรวมคะแนนของกลุ่มต่ำ
	N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ
	$X_{\max}$	แทน	คะแนนสูงสุดในข้อนั้น
	$X_{\min}$	แทน	คะแนนต่ำสุดในข้อนั้น

3) การหาค่าความเชื่อมั่นหรือความเที่ยง (reliability: R) ของแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งฉบับ โดยคำนวณจากสูตรหาค่าความเชื่อมั่นแบบสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) (Cronbach, 1951) ได้แก่

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right)$$

เมื่อ	α	แทน	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
	k	แทน	จำนวนข้อสอบ

s_i^2 แทน ค่าความแปรปรวนของข้อสอบแต่ละข้อ
 s_t^2 แทน ค่าความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งฉบับ

โดย s^2 คำนวณจาก

$$s^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N - 1)}$$

เมื่อ N แทน จำนวนผู้สอบ
 X แทน คะแนนรวมของผู้สอบแต่ละคน

9.2 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

1) การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่นัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิตินอนพาราเมตริก (nonparametric statistics) ด้วยวิธีทดสอบวิลคอกซ์สำหรับกลุ่มที่ศึกษาที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Wilcoxon matched pairs signed-rank test) ด้วยโปรแกรม SPSS (statistical package for social sciences)

2) การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียน เพื่อหาพัฒนาการการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนโดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมทั้งรายบุคคลและกลุ่ม ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี normalized gain, $\langle g \rangle$ ของ Hake (1998) โดยคำนวณจากสูตร ได้แก่

$$\langle g \rangle = \frac{(\% \text{posttest} - \% \text{pretest})}{(100 - \% \text{pretest})}$$

เมื่อ $\langle g \rangle$ แทน คะแนนระดับความก้าวหน้าทางการเรียน
 $\% \text{posttest}$ แทน สัดส่วนของคะแนนที่ได้ต่อคะแนนทั้งหมดหลังเรียน
 $\% \text{pretest}$ แทน สัดส่วนของคะแนนที่ได้ต่อคะแนนทั้งหมดก่อนเรียน

กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายของคะแนนดังนี้

คะแนน 0.00 - 0.29	แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียน อยู่ในระดับต่ำ (low gain)
คะแนน 0.30 - 0.69	แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียน อยู่ในระดับปานกลาง (medium gain)
คะแนน 0.70 - 1.00	แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียน อยู่ในระดับสูง (high gain)

10. จริยธรรมการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ปฏิบัติตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ที่กำหนดไว้ใน The Belmont Report ปี ค.ศ. 1979 (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979) โดยการดำเนินการวิจัยยึดถือหลักการจริยธรรม 3 ประการ ได้แก่ 1) หลักความเคารพในบุคคล 2) หลักคุณประโยชน์ไม่ก่อให้เกิดอันตราย และ 3) หลักความยุติธรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) หลักความเคารพในบุคคล (respect for person)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยอย่างชัดเจนและโปร่งใสให้กับผู้เข้าร่วมการวิจัย เพื่อให้ผู้ร่วมวิจัยสามารถตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยได้อย่างเต็มใจ โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยลงนามยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย พร้อมทั้งระบุสิทธิในการถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลา โดยหากผู้เข้าร่วมวิจัยเลือกที่จะถอนตัว ข้อมูลของผู้ที่ถอนสิทธิ์จะไม่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ และในการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะใช้หมายเลขหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของผู้เข้าร่วมการวิจัย และทำการเก็บรักษาข้อมูลอย่างรัดกุม เพื่อปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและสถานที่ที่เกี่ยวข้องให้เป็นความลับ

2) หลักคุณประโยชน์ไม่ก่อให้เกิดอันตราย (beneficence, non-maleficence)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้กลยุทธ์และรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีประโยชน์สูงสุดต่อผู้เรียน โดยคำนึงถึงการให้ประโยชน์จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามโนคติในหัวข้อเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งผู้เรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้นี้จะได้เรียนรู้เนื้อหาครอบคลุมตามหลักสูตรเช่นเดียวกับผู้เรียนกลุ่มอื่น ๆ โดยประโยชน์จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาหรือส่งเสริมความเข้าใจมโนคติในรายวิชาชีววิทยาและรายวิชาอื่น ๆ สำหรับผู้สอนและผู้ที่เกี่ยวข้อง อันจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อผู้เรียนต่อไป

3) หลักยุติธรรม (justice)

ในการทำวิจัยนี้ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับการปฏิบัติอย่างยุติธรรมและเสมอภาค โดยทุกคนที่เข้าร่วมการวิจัยได้มีโอกาสเลือกเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมโดยไม่มีการบังคับ และได้ถูกแจ้งข้อมูลเกี่ยวกับสิทธิและบทบาทของตนในการวิจัยนี้อย่างครบถ้วน การดำเนินการวิจัยไม่ได้แสวงหาผลประโยชน์จากผู้ร่วมวิจัย และไม่มีการแบ่งแยกผู้เข้าร่วมตามกลุ่มหรือบุคคล ผู้ร่วมวิจัยทุกคนได้รับสิทธิในการเข้าร่วมอย่างเสมอภาคและได้รับประโยชน์จากการวิจัยนี้ตามหลักการจริยธรรม



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนามโนคติของนักเรียนให้เกิดความเข้าใจมโนคติที่ถูกต้องและลดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับครูและนักวิจัยด้านชีววิทยาศึกษาหรือวิทยาศาสตร์ศึกษาในการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนต่อไป ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการดำเนินงานวิจัยเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติของนักเรียนทั้งกลุ่ม
2. การวิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ
3. การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลและรายกลุ่ม
4. การวิเคราะห์ระดับความเข้าใจมโนคติเป็นรายข้อในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ
5. การวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติของนักเรียนเป็นรายบุคคล
6. การตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้

1. การวิเคราะห์คะแนนและเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติของนักเรียนทั้งกลุ่ม

การวิเคราะห์คะแนนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนทั้งกลุ่ม โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักเรียน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ นอนพาราเมตริก (nonparametric statistics) ด้วยวิธีทดสอบวิลคอกซันสำหรับกลุ่มที่ศึกษาที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Wilcoxon matched pairs signed-rank test) มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

คะแนนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า คะแนนความเข้าใจมโนคติ ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.56 คิดเป็นร้อยละ 15.94 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.42 และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.66 คิดเป็นร้อยละ 74.43 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.36 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ระหว่าง

ก่อนและหลังเรียนของนักเรียน พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนความเข้าใจในมิติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลการเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของนักเรียนทั้งกลุ่ม

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	SD	Max	Min	Z
ก่อนเรียน	32	9.56	3.42	16	3	-4.938*
หลังเรียน	32	44.66	8.36	57	24	

* $p < .05$, ทดสอบด้วย Wilcoxon matched pairs signed-rank test

จากตาราง 9 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จะเห็นได้ว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ มีคะแนนความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การวิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ

การวิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ ประกอบด้วยนักเรียนกลุ่มสูงจำนวน 3 คน ได้แก่ หมายเลข 8, 24 และ 29 นักเรียนกลุ่มต่ำจำนวน 3 คน ได้แก่ หมายเลข 7, 15 และ 18 และนักเรียนที่ไม่ได้อยู่ในทั้งกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำจำนวน 4 คน ได้แก่ หมายเลข 3, 5, 16 และ 28 รวมจำนวน 10 คน และเพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บหลังเรียน โดยใช้แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) มีประเด็นคำถามซึ่งผู้วิจัยกำหนดขึ้นก่อนสัมภาษณ์เพื่อให้ให้นักเรียนอธิบายความคิดของตนเองให้ชัดเจนขึ้น โดยจะให้อิสระในการตอบคำถามแก่นักเรียน ผู้สัมภาษณ์ไม่ตัดสินว่าถูกหรือผิด เพียงแต่ใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนแสดงความเข้าใจตามความคิดของตนเองให้ชัดเจนขึ้น มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

จากการสัมภาษณ์นักเรียนพบว่า นักเรียนสามารถอธิบายความหมาย ขั้นตอนและการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ โดยตั้งคำถามว่า “การสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร และมีกี่ขั้นตอนอย่างไร” สรุปได้ว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) คือ กระบวนการที่พืชใช้แสงในการผลิตอาหารโดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีที่เก็บไว้ในโมเลกุลของน้ำตาล เช่น กลูโคส แป้ง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำหรับพืชในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิต กระบวนการนี้เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ของเซลล์พืช โดยใช้แสง น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ และประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ปฏิกิริยาแสง และปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ และคำถามว่า “กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแต่ละขั้นตอนเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด (กลางวัน หรือ กลางคืน) เพราะเหตุใด” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดจะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน เนื่องจากแสงแดดเป็นสิ่งที่สำคัญในการกระตุ้นกระบวนการขั้นตอนทั้งสองนี้ โดยขั้นปฏิกิริยาแสงต้องการการการแสงแดดในการเกิดปฏิกิริยา เพราะกระบวนการนี้ใช้พลังงานจากแสงในการผลิต ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ซึ่งเป็นพลังงานที่จำเป็นสำหรับขั้นตอนถัดไปจึงเกิดขึ้นในเวลากลางวันที่มีแสงแดดเท่านั้น และขั้นปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ถึงแม้ว่าขั้นตอนนี้จะไม่ต้องการแสงโดยตรง แต่นักเรียนก็อธิบายได้ว่าการบวนการนี้ยังต้องการ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ที่ผลิตจากขั้นตอนแรก ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงกลางวัน ดังนั้นการสร้างน้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์จึงเกิดในช่วงกลางวันที่มีการผลิตพลังงานจากแสงเช่นกัน โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 29:

“การสังเคราะห์ด้วยแสงคือกระบวนการที่พืชใช้แสงแดดในการผลิตอาหาร โดยแสงช่วยให้พืชสามารถเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นน้ำตาล และปล่อยออกซิเจนออกมา...”

“...มันมีสองขั้นตอน ขั้นแรกคือขั้นตอนที่ใช้แสง ซึ่งพืชจะใช้แสงเพื่อผลิตพลังงาน และขั้นที่สองคือการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นน้ำตาลในขั้นตอนที่ไม่ใช้แสง”

นักเรียนหมายเลข 5:

“การสังเคราะห์ด้วยแสงคือกระบวนการที่พืชใช้แสงแดดในการผลิตอาหาร โดยใช้แสงแดด น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างน้ำตาลที่พืชสามารถใช้เป็นพลังงานได้... พืชจะดูดน้ำจากดินและคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ แล้วใช้แสงในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อสร้างอาหาร และปล่อยออกซิเจนออกมาเป็นผลข้างเคียง...”

“...การสังเคราะห์ด้วยแสงมี 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นแรกคือการตอบสนองแสง ซึ่งเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ และขั้นที่สองคือการสร้างน้ำตาลหรือที่เรียกว่าการตรึงคาร์บอน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ ATP และ NADPH ที่ได้จากขั้นตอนแรกมาช่วย”

นักเรียนหมายเลข 7:

“การสังเคราะห์ด้วยแสงคือการที่พืชเปลี่ยนแสงแดดเป็นอาหาร ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำกลายเป็นน้ำตาลและปล่อยออกซิเจนออกมา...”

“...กระบวนการนี้มี 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือการดูดซึมแสงเพื่อผลิต ATP และ NADPH + H^+ และขั้นที่สองคือการใช้ ATP และ NADPH นี้ในการสร้างน้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์”

นักเรียนหมายเลข 8:

“...ขั้นตอนที่ 1 คือการใช้แสงเพื่อผลิตพลังงานจะเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เพราะแสงเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้เกิดปฏิกิริยาในคลอโรพลาสต์ ส่วนขั้นตอนที่ 2 จะเกิดในช่วงกลางวันด้วย เพราะมันต้องใช้พลังงานจากขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นในตอนกลางวัน ถึงแสงจะไม่ได้มีบทบาทโดยตรงในขั้นตอนที่สอง แต่พลังงานจากขั้นตอนแรกจะใช้ในการสร้างน้ำตาล”

นักเรียนหมายเลข 16:

“...ขั้นตอนแรกเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสงและการสร้าง ATP จะเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เพราะต้องมีแสงในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ส่วนขั้นตอนที่สองจะเป็นการใช้ ATP และ NADPH ที่ได้จากขั้นแรกเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นน้ำตาล ซึ่งมันก็จะเกิดในช่วงกลางวันด้วย เพราะมันยังต้องการพลังงานจากขั้นแรก”

นักเรียนหมายเลข 18:

“การสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดในตอนกลางวันทั้งสองขั้นตอน เพราะขั้นตอนแรกต้องใช้แสงเพื่อเปลี่ยนแสงให้เป็นพลังงานในรูปแบบของ ATP และ NADPH ซึ่งจะใช้ในขั้นตอนที่สองเพื่อสร้างน้ำตาล แม้ขั้นตอนที่สองจะไม่ใช้แสงโดยตรง แต่ก็ต้องใช้พลังงานจากขั้นแรกที่เกิดขึ้นในตอนกลางวัน...”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจความหมาย ขั้นตอน และการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในรูปแบบที่คล้ายกัน คือ การใช้แสงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นอาหาร (น้ำตาล) พร้อมกับการปล่อยออกซิเจน นอกจากนี้ นักเรียนหลายคนสามารถระบุได้ว่า กระบวนการนี้มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ ปฏิกิริยาแสง (light reaction) และการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Calvin cycle) ทั้งสองขั้นตอนเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากขั้นตอนแรกต้องการแสงในการผลิต ATP และ NADPH + H^+ ซึ่งเป็นพลังงานที่จำเป็นสำหรับขั้นตอนที่สอง แม้ว่าขั้นตอนที่สองจะไม่ใช้แสงโดยตรง แต่ก็ยังต้องการพลังงานจากขั้นแรกที่เกิดขึ้นในตอนกลางวัน แม้จะมี

ความแตกต่างบ้างในคำอธิบายของกระบวนการและบางคนที่อธิบายได้ไม่ครบถ้วน แต่โดยรวมแล้วนักเรียนมีความเข้าใจพื้นฐานและสามารถตอบคำถามได้ดี

เมื่อวิเคราะห์การสัมภาษณ์นักเรียนในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัยแยกเป็นแต่ละมโนคติ ดังนี้

มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์

ผลจากการสัมภาษณ์มโนคติที่ 1 เรื่อง โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ โดยตั้งคำถามว่า “คลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจว่า คลอโรพลาสต์มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะภายในคลอโรพลาสต์มีคลอโรฟิลล์ที่ช่วยดูดกลืนแสง และมีโครงสร้างที่สำคัญในการผลิตพลังงาน ได้แก่ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และน้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายโครงสร้างภายในคลอโรพลาสต์ เช่น เยื่อไทลาคอยด์ และสโตรมา ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงขึ้น โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 24:

“คลอโรพลาสต์คือออร์แกเนลล์ภายในเซลล์พืชที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะมันมีคลอโรฟิลล์ที่ช่วยดูดกลืนแสงจากดวงอาทิตย์ เมื่อแสงตกกระทบคลอโรฟิลล์ พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี ซึ่งพืชจะนำไปใช้ในการสร้างอาหารและปล่อยออกซิเจนออกมา”

นักเรียนหมายเลข 3:

“คลอโรพลาสต์ช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยมันจะดูดแสงจากดวงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี คลอโรพลาสต์ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เรียกว่า ไทลาคอยด์ ซึ่งมีสารสีทำหน้าที่ดูดกลืนแสง และผลิต ATP และ NADPH ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสร้างน้ำตาลในขั้นตอนที่ไม่ใช้แสงต่อไป”

นักเรียนหมายเลข 15:

“คลอโรพลาสต์เป็นส่วนสำคัญในเซลล์พืชที่ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์อาหารได้ ภายในคลอโรพลาสต์จะมีคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีเขียวที่ดูดพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ แสงที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในรูปแบบ ATP และ NADPH โดยพลังงานนี้จะใช้ในขั้นตอนถัดไปเพื่อสร้างน้ำตาล”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับคลอโรพลาสต์ว่ามีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะภายในคลอโรพลาสต์มีคลอโรฟิลล์และสารสีต่าง ๆ ที่ช่วยดูดกลืนแสง และมีโครงสร้างที่สำคัญในการผลิตพลังงาน และนำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถอธิบายโครงสร้างภายในคลอโรพลาสต์ได้ โดยนักเรียนบางคนสามารถอธิบายได้ว่า คลอโรพลาสต์มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ทำให้สามารถแยกแยะขั้นตอนต่าง ๆ ภายในคลอโรพลาสต์ได้ เช่น ปฏิริยาแสงที่เกิดบริเวณไทลาคอยด์ เนื่องจากมีสารสีรวมกับกลุ่มโปรตีนเป็นระบบแสงที่บริเวณไทลาคอยด์ และการสร้างน้ำตาลเกิดในสโตรมา เนื่องจากมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยนักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจบทบาทและโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างชัดเจน

มโนมัติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิริยาแสง

ผลจากการสัมภาษณ์มโนมัติที่ 2 เรื่อง พลังงานแสงและสารสีในปฏิริยาแสง โดยตั้งคำถามว่า “พลังงานแสงเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร” “สารสีมีชนิดใดบ้าง และมีบทบาทหน้าที่หรือทำงานอย่างไร” และ “คลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสงสีเขียว แต่พืชยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงแสงสีเขียว เพราะเหตุใด” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของพลังงานแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยหลายคนระบุว่า พลังงานแสงเป็นสิ่งจำเป็นในการเริ่มต้นกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพลังงานแสงจะถูกดูดกลืนโดยสารสีในคลอโรพลาสต์ จะทำให้เกิดปฏิริยาแสงโดยการหลุดและถ่ายทอดอิเล็กตรอนจนสร้างสารที่มีพลังงานสูง ได้แก่ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการสร้างน้ำตาลของปฏิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ และนักเรียนบางคนสามารถอธิบายได้ว่า พลังงานแสงไม่ได้ใช้ในกระบวนการสร้างอาหารโดยตรง แต่จะช่วยให้เกิดการสร้างพลังงานเคมี (ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$) ที่เป็นพลังงานหลักในการสร้างน้ำตาลและอาหารอื่น ๆ ในพืช โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 29:

“พลังงานแสงที่ตกกระทบไปที่คลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์จะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแสงเป็น ATP และ NADPH ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างน้ำตาลและสารอาหารในขั้นตอนที่ไม่ใช้แสง...”

นักเรียนหมายเลข 28:

“พลังงานแสงมีบทบาทสำคัญมากในการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อแสงเข้าสู่เซลล์พืช พลังงานแสงจะถูกดูดกลืนโดยคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีเขียวในคลอโรพลาสต์ เมื่อคลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้แล้ว มันจะเปลี่ยนพลังงานแสงนั้นให้เป็นพลังงานเคมี เช่น ATP และ NADPH ซึ่งจะใช้ในการทำกระบวนการต่อไป...”

“...ภายในคลอโรพลาสต์จะมีโครงสร้างที่เรียกว่า ไทลาคอยด์ ที่ทำหน้าที่เก็บพลังงานแสงไว้ และพลังงานนี้จะถูกใช้ในขั้นตอนการสร้างน้ำตาลใน Calvin cycle หรือกระบวนการที่ไม่ใช้แสง พลังงานที่ได้จากแสงจะช่วยให้พืชสามารถสร้างน้ำตาลและสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต”

นักเรียนหมายเลข 7:

“แสงจะถูกดูดโดยคลอโรฟิลล์ใน antenna complex แล้วส่งไปยังศูนย์กลางปฏิกิริยาจนทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เกิดการสร้างเป็น ATP และ NADPH ซึ่งจะนำไปใช้ใน Calvin cycle...”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

นอกจากนี้นักเรียนสามารถยกตัวอย่างและอธิบายบทบาทหน้าที่หรือการทำงานของสารสีในพืชได้ พบว่า นักเรียนบอกได้ว่าสารสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชหลัก ๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ โดยมีบทบาทสำคัญในการดูดกลืนแสงเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาให้เป็นพลังงานเคมี และนักเรียนยังอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารสีหลักที่ทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงสีม่วงและสีแดง และคลอโรฟิลล์ บี ช่วยดูดกลืนแสงในช่วงที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดกลืนได้ เช่น แสงสีฟ้าและสีแดง รวมถึงแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ช่วยป้องกันการเกิดการทำลายจากแสงหรือสารอนุมูลอิสระที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อปกป้องเซลล์พืชจากความเสียหาย และยังบอกได้ว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงโดยการจับแสงที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดซึมได้ เช่น แสงสีฟ้าและสีเขียว พืชจึงยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงแสงสีเขียว แม้ว่าคลอโรฟิลล์จะไม่ดูดกลืนแสงสีเขียว แต่ยังมีแคโรทีนอยด์ที่ช่วยในการดูดกลืนแสง แม้จะมีปริมาณน้อยกว่าคลอโรฟิลล์ แต่ก็ยังช่วยให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทำงานได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่แสงแดดไม่เหมาะสม ประกอบด้วยแคโรทีน (carotene) สารที่ให้สีส้ม เช่น เบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) พบในแครอท และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) สารที่ให้สีเหลือง เช่น ลูทีน และซีแซนทีน โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 8:

“สารสีหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ คลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์มี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งดูดกลืนแสงสีม่วงและแดง และคลอโรฟิลล์ บี ที่ช่วยดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีฟ้าที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดกลืนได้ แสงที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืนจะถูกแปลงเป็นพลังงานเคมีที่จำเป็นสำหรับการสร้างอาหารให้พืช...”

“...อีกชนิดหนึ่งคือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งจะช่วยดูดกลืนแสงในช่วงที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดกลืนได้ และยังช่วยป้องกันพืชจากแสงที่ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระ”

นักเรียนหมายเลข 16:

“ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ดูดกลืนแสงจากดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะแสงสีแดงและสีฟ้า ซึ่งทำให้เกิดพลังงานเคมีในรูปแบบของ ATP และ NADPH...”

“...ส่วนแคโรทีนอยด์ ก็มีบทบาทในการดูดกลืนแสงเหมือนกัน แต่มันช่วยเสริมการทำงานของคลอโรฟิลล์ในการดูดแสงสีฟ้าและสีเขียว และแคโรทีนอยด์ยังช่วยปกป้องพืชจากความเสียหายจากแสงด้วย”

นักเรียนหมายเลข 3:

“คลอโรฟิลล์จะไม่ดูดแสงสีเขียว เพราะมันสะท้อนแสงสีเขียว ทำให้พืชมีสีเขียว แต่พืชยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในแสงสีเขียว เพราะถึงคลอโรฟิลล์จะสะท้อนแสงสีเขียวออกไป แต่มันยังดูดแสงสีแดงและสีน้ำเงินได้ดี ซึ่งช่วยให้พืชสามารถสร้างพลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาลได้...”

นักเรียนหมายเลข 15:

“แสงสีเขียวจะไม่ถูกดูดด้วยคลอโรฟิลล์ แต่มันยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เพราะว่า แคโรทีนอยด์ช่วยดูดแสงสีเขียวบางส่วนที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดได้ และคลอโรฟิลล์ก็ยังคงดูดแสงสีแดงและสีน้ำเงินได้ดี”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ว่า พลังงานแสงมีบทบาทต่อการสร้างพลังงานเคมี และคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่สำคัญในการดูดกลืนแสงและเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพลังงานเคมีที่ได้จะใช้ในการสร้างน้ำตาลและสารอาหารให้กับพืช ส่วนแคโรทีนอยด์ช่วยเสริมการดูดกลืนแสงจากแสงที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดซึมได้ และช่วยปกป้องพืชจากการทำลายจากแสงและสารอนุมูลอิสระ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมีประสิทธิภาพมากขึ้น

มโนคติที่ 3 ปฏิริยาแสง

ผลจากการสัมภาษณ์มโนคติที่ 3 เรื่อง ปฏิริยาแสง โดยตั้งคำถามว่า “ปฏิริยาแสงคืออะไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง” “แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้อย่างไร” และ “การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรกับแบบไม่เป็นวัฏจักรแตกต่างกันอย่างไร” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ว่า ปฏิริยาแสงคือกระบวนการที่พืชใช้พลังงานจากแสงเพื่อผลิตพลังงานในรูปแบบของ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ซึ่งจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดขึ้นที่บริเวณเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ และอธิบายถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ได้ เช่น ระบบแสง ตัวรับอิเล็กตรอนและโปรตีนที่เกี่ยวข้อง การดูดกลืนแสงโดยคลอโรฟิลล์ การทำงานของศูนย์กลางปฏิริยา การแยกน้ำให้เป็นออกซิเจนและโปรตอน และการสร้าง ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ โดยนักเรียนทราบว่า ออกซิเจนเป็นผลพลอยได้จากการแยกน้ำ (photolysis) ที่ระบบแสง II (P680) และบอกความแตกต่างระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรกับแบบไม่เป็นวัฏจักรได้ว่า การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรเกี่ยวกับระบบแสง I (P700) และได้ผลิตภัณฑ์เฉพาะ ATP ส่วนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรเกี่ยวกับทั้งระบบแสง I และ II และได้ผลิตภัณฑ์เป็น ATP, $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และออกซิเจน โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 18:

“ปฏิริยาแสงเกิดที่ไทลาคอยด์ เป็นการที่พืชใช้แสงในการแยกน้ำเป็นออกซิเจนและโปรตอน แล้วอิเล็กตรอนก็จะส่งต่อไปตามลำดับเพื่อสร้าง ATP และ NADPH ซึ่งนำไปใช้ในการสังเคราะห์อาหารในขั้นตอน Calvin cycle ต่อไป...”

นักเรียนหมายเลข 24:

“...อิเล็กตรอนที่หลุดจากโมเลกุลของศูนย์กลางๆ ในระบบแสง II ก็จะถ่ายทอดผ่านตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อลดระดับพลังงานลง ทำให้มีการปั๊มโปรตอนเข้ามาแล้วสะสมโปรตอนในลูเมนจนเกิดความแตกต่างระหว่างโปรตอนในลูเมนและสโตรมา จึงเกิดการเคลื่อนของโปรตอนจากลูเมนสู่สโตรมาผ่านเอนไซม์ ATP synthase ก็ทำให้มีการสร้าง ATP ได้”

นักเรียนหมายเลข 5:

“...เฟอริดอกซินส่งอิเล็กตรอนไปยังไซโทโครมคอมเพล็กซ์ (cytochrome complex) และส่งต่อไปยังพลาสโทควิโนน (plastoquinone) และส่งต่อไปยังระบบแสง I แล้วส่งต่อให้เฟอริดอกซินวนเวียนเป็นวัฏจักรเดิม...”

นักเรียนหมายเลข 28:

“การถ่ายทอดแบบเป็นวัฏจักรคือ อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจากแสงใน Photosystem I แล้วกลับไปหมุนเวียนที่เดิมเพื่อสร้าง ATP เท่านั้น ไม่มีการสร้าง NADPH หรือ ออกซิเจน แต่การถ่ายทอดแบบไม่เป็นวัฏจักร อิเล็กตรอนจะถูกส่งจาก Photosystem II ไปยัง Photosystem I แล้วไปสร้าง NADPH และ ATP พร้อมกัน และจะปล่อยออกซิเจนออกมาด้วยจากการแตกตัวของน้ำ...”

“...ต่างกันตรงที่แบบเป็นวัฏจักรจะผลิต ATP เท่านั้น ส่วนแบบไม่เป็นวัฏจักรจะผลิตทั้ง ATP และ NADPH รวมถึงปล่อยออกซิเจน”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาแสง โดยทราบว่า พืชใช้แสงในการสร้างพลังงานและผลิต ATP, NADPH + H^+ และออกซิเจน ลำดับขั้นตอนและเปรียบเทียบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรได้ว่า เกิดการผลิต ATP แต่ไม่ผลิต NADPH + H^+ และออกซิเจน ในขณะที่การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจะผลิตทั้ง ATP, NADPH + H^+ , และออกซิเจน อีกทั้งอธิบายกระบวนการแตกตัวของน้ำและการทำงานของระบบแสง II และระบบแสง I ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม นักเรียนบางคนยังไม่สามารถอธิบายถึงรายละเอียดของการแยกน้ำ ลำดับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และการสร้าง ATP และ NADPH + H^+ ได้ชัดเจนมากนัก และครูยังต้องใช้คำถามในการกระตุ้นให้นักเรียนอธิบายได้อย่างลึกซึ้งถึงบทบาทของแต่ละผลิตภัณฑ์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้น

มโนคติที่ 4 ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ผลจากการสัมภาษณ์มโนคติที่ 4 เรื่อง ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตั้งคำถามว่า “ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คืออะไร” และ “วัฏจักรคัลวินมีขั้นตอนอย่างไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจและสามารถอธิบายถึงกระบวนการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ค่อนข้างชัดเจน โดยทุกคนระบุได้ว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวินและเกิดบริเวณสโตรมา เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการสังเคราะห์ด้วยแสง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ คาร์บอกซิเลชัน (carboxylation) รีดักชัน (reduction) และรีเจนเนอเรชัน (regeneration) โดยมีการใช้ RuBP (ribulose 1,5-bisphosphate) เป็นสารตั้งต้นที่จับกับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้าง PGA (phosphoglycerate) และเอนไซม์รูบิสโก (RuBisCO) และนักเรียนยังสามารถอธิบายได้ว่า ATP และ NADPH + H^+ ที่ได้จากปฏิกิริยาแสงจะถูกใช้ใน

การเปลี่ยน PGA ไปเป็นน้ำตาลตัวแรกที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ G3P หรือ PGAL แล้วเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสหรือสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งเป็นอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป และ G3P ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้าง RuBP กลับคืนเป็นวัฏจักร โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 29:

“...คือกระบวนการที่พืชดึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและนำมาเชื่อมกับ RuBP ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม...”

“...หลังจากที่คาร์บอนไดออกไซด์เชื่อมกับ RuBP แล้วจะทำให้เกิดการสร้างสารประกอบที่เรียกว่า 3-phosphoglycerate หรือ 3-PGA ซึ่งจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น PGAL...”

นักเรียนหมายเลข 16:

“...ขั้นตอนที่แรกจะใช้ ATP และ NADPH จากปฏิกิริยาแสง โดย PGA จะรับหมู่ฟอสเฟตจาก ATP กลายเป็น 1,3-BPG แล้วจะถูกรีดิวซ์โดยรับอิเล็กตรอนจาก NADPH ได้เป็น G3P คือน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และเป็นน้ำตาลตัวแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวิน...”

“...การเกิดวัฏจักรคัลวิน 1 รอบสมบูรณ์ ต้องใช้ CO_2 และ RuBP จำนวนอย่างละ 3 โมเลกุล”

นักเรียนหมายเลข 5:

“การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ มี 3 ขั้นตอน เกิดในสโตรมา โดย RuBP จับกับ CO_2 และใช้เอนไซม์รูบิสโกเร่งปฏิกิริยาจะได้เป็น PGA โดยใช้ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ที่ได้จากปฏิกิริยาแสงจะมารีดิวซ์ PGA ได้เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGAL ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับไปสร้าง เป็น RuBP คืนมา...”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนทุกคนสามารถอธิบายกระบวนการได้อย่างถูกต้อง โดยเน้นถึงบทบาทของ RuBP ในการจับกับคาร์บอนไดออกไซด์และการสร้าง PGA โดยอธิบายถึงการให้ ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ในการเปลี่ยน PGA ต่อไปได้อย่างชัดเจนในภาพรวม แต่นักเรียนบางคนอาจยังมีปัญหาในการจดจำหรือคำนวณจำนวนโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยต้องใช้เวลาในการให้คำตอบหรืออธิบาย และการเข้าใจในรายละเอียดบทบาทของสารเคมีที่เกี่ยวข้องทั้ง RuBP, PGA, ATP และ $\text{NADPH} + \text{H}^+$

มโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน

ผลจากการสัมภาษณ์มโนคติที่ 5 เรื่อง โฟโตเรสไพเรชัน โดยตั้งคำถามว่า “โฟโตเรสไพเรชันคืออะไร” พบว่า นักเรียนสามารถเข้าใจกระบวนการของโฟโตเรสไพเรชันและผลกระทบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี โดยอธิบายได้ว่า โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในพืชเมื่อเอนไซม์รูบิสโกเกิดการจับออกซิเจนแทนคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะที่มีแสงสว่างจัดหรือคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ส่งผลให้พืชสูญเสียพลังงานและคาร์บอนที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยบางคนสามารถเชื่อมโยงกับวิธีการที่พืชปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากโฟโตเรสไพเรชันและเข้าใจว่าโฟโตเรสไพเรชันเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้พืชสูญเสียประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง และนักเรียนบางคนชี้ให้เห็นว่า โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่พืชไม่ต้องการ เนื่องจากทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เกิดผลสูงสุด แต่ก็ยังเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในบางสภาพแวดล้อมที่พืชไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ทั้งนี้ นักเรียนยังบอกกระบวนการที่เกิดขึ้นในการสลาย PG (phosphoglycolate) และการใช้ ATP ให้กลายเป็น PGA ในกระบวนการของโฟโตเรสไพเรชันที่เกิดขึ้นในออร์กาเนลล์ที่เกี่ยวข้องทั้งคลอโรพลาสต์ เพอร์อกซิโซมและไมโทคอนเดรีย โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 28:

“โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่พืชตรึง O_2 โดยเอนไซม์รูบิสโก เมื่อมีอุณหภูมิสูงหรือคาร์บอนน้อย พืชจึงสร้างน้ำตาลได้ลดลง และมีการใช้ ATP ด้วย เพื่อลดการสะสม ATP ที่มากเกินไป...”

“...โฟโตเรสไพเรชันพบมากในพืช C_3 แต่ในพืช C_4 และพืช CAM มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ทำให้โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นได้น้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย”

นักเรียนหมายเลข 8:

“การเกิดโฟโตเรสไพเรชันจะทำให้พืชสูญเสียพลังงาน เพราะเมื่อ CO_2 ต่ำ เอนไซม์รูบิสโกจะจับ O_2 แทน CO_2 ซึ่งจะทำให้พืชไม่สามารถใช้แสงในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างเต็มที่ พืชจะเติบโตได้ช้าและผลิตผลผลิตได้น้อย...”

“...เมื่อ O_2 รวมกับ RuBP จะได้เป็น PGA 1 โมเลกุล และ PG 1 โมเลกุล ที่เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม โดย PG พืชไม่ต้องการ จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็น PGA และลำเลียงออกจากคลอโรพลาสต์ไปยังเพอร์อกซิโซมและไมโทคอนเดรีย”

นักเรียนหมายเลข 15:

“...ในไมโทคอนเดรียจะมีสารคาร์บอน 2 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุลรวมตัวกัน ได้เป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 1 โมเลกุล และปล่อยคาร์บอนจำนวน 1 โมเลกุล โดยสารตัวกลางที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนั้นจะถูกนำกลับเข้าสู่คลอโรพลาสต์และก็เปลี่ยนเป็น PGA”
(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับโฟโตเรสไพเรชัน และผลกระทบต่อภาระการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชไม่สามารถสร้างอาหารได้เต็มที่ ส่งผลให้พืชเติบโตได้ช้าหรือมีผลผลิตต่ำ โดยอธิบายถึงสาเหตุที่โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้น รวมถึงการปรับตัวของพืชบางชนิดเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากโฟโตเรสไพเรชัน เช่น พืชในกลุ่ม C_4 ที่มีการตรึง CO_2 ออกเป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งช่วยลดการจับ O_2 โดยรูบิสโก และพืช CAM จะตรึง CO_2 ในตอนกลางคืนแล้วเก็บไว้ใช้ในตอนกลางวัน เพื่อช่วยลดการสูญเสีย CO_2 ในช่วงที่แสงจัด

มโนมติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ผลจากการสัมภาษณ์มโนมติที่ 6 เรื่อง การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตั้งคำถามว่า “โครงสร้างภายในใบของพืช C_3 กับพืช C_4 มีโครงสร้างเหมือนหรือต่างกันอย่างไร” “พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันอย่างไร” และ “พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM พืชกลุ่มใดเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงสุดเพราะเหตุใด” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ว่า ใบพืช C_3 มีเซลล์ในมีโซฟิลล์ 2 ชนิด คือ แพลลิสเมโซฟิลล์และสฟองจีมีโซฟิลล์ โดยพืช C_3 อาจมีหรือไม่มีเซลล์บันเดิลชีทก็ได้ และมักไม่พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีท ส่วนใบพืช C_4 พบว่ามีไซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกันและเห็นคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทได้ชัดเจน โดยปฏิกิริยาแสงในพืช C_3 และพืช C_4 นั้นไม่แตกต่างกัน แต่การตรึงคาร์บอนของพืช C_4 มีกลไกที่แตกต่างจากพืช C_3 โดยพืช C_4 จะมีการตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง ซึ่งการตรึงแต่ละครั้งจะเกิดที่เซลล์ต่างชนิดกัน ส่วนพืช CAM จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งเช่นกัน โดยทั้ง 2 ครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกันแต่เกิดต่างช่วงเวลา และบอกได้ว่าพืช C_3 มีโอกาสเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืช C_4 และ CAM โดยนักเรียนให้เหตุผลหลักว่ามาจากการปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งใช้เอนไซม์รูบิสโกในการจับ CO_2 จากบรรยากาศสำหรับการตรึงคาร์บอนครั้งแรกและครั้งเดียว แต่เอนไซม์รูบิสโกสามารถจับ O_2 แทน CO_2 ได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงหรือ CO_2 ต่ำ ทำให้ลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 24:

“พืช C_3 เกิด Calvin Cycle โดยใช้เอนไซม์รูบิสโกในการจับ CO_2 ที่มีไซฟิลล์ แต่ปัญหาคือถ้าอุณหภูมิสูงหรือ CO_2 น้อย รูบิสโกจะจับ O_2 แทน CO_2 ซึ่งทำให้เกิดโฟโตเรสไพเรชันและลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้”

นักเรียนหมายเลข 16:

“...คิดว่าพืช C_3 เกิดโฟโตเรสไพเรชันมากที่สุดเพราะในพืช C_3 รูบิสโกทำงานได้ไม่ดีเมื่ออุณหภูมิสูง หรือ CO_2 ลดลง”

“พืช C_4 จะมีตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเกิดที่ไซฟิลล์ซึ่งภายในไม่มีรูบิสโก ทำให้ลดการเกิดโฟโตเรสไพเรชันได้ เพราะมีการจับ CO_2 กับ PEP อยู่ในรูป OAA ที่มี 4 คาร์บอนก่อนแล้วค่อยส่งไปที่เซลล์บันเดิลชีท”

นักเรียนหมายเลข 7:

“พืช C_4 ใช้เอนไซม์ PEP carboxylase ในเซลล์ไซฟิลล์จับ CO_2 ก่อน ได้เป็น OAA แล้วส่งไปยัง bundle sheath cell ซึ่งเป็นที่ที่เอนไซม์รูบิสโก และ OAA สลายจะปล่อย CO_2 ในเข้าสู่ Calvin Cycle ...ทำให้ลดการจับกับ O_2 โดยรูบิสโกและส่งผลให้ลดโอกาสในการเกิดโฟโตเรสไพเรชันด้วย”

นักเรียนหมายเลข 3:

“พืช CAM จะตรึง CO_2 ในตอนกลางคืนและเก็บไว้ในรูปกรดมาลิกก่อนที่จะสลายให้ CO_2 ในตอนกลางวันเข้าสู่ Calvin Cycle ...พืช CAM สามารถลดการเกิดโฟโตเรสไพเรชันในช่วงที่อุณหภูมิสูง โดยกลางวันจะเปิดใบปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนสามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างพืช C_3 C_4 และ CAM ได้ดี แสดงให้เห็นถึงกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชแต่ละกลุ่ม รวมทั้งสามารถเข้าใจถึงข้อดีของพืชแต่ละกลุ่มในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น พืช C_3 เหมาะในสภาพแวดล้อมที่ไม่ร้อนจัด พืช C_4 เหมาะกับสภาพแสงจัดและอุณหภูมิสูง และพืช CAM เหมาะกับสภาพที่แห้งแล้ง และเห็นตรงกันว่า พืช C_3 เป็นพืชที่เกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงสุด พร้อมยกตัวอย่างพืชได้อีกด้วย

ทั้งนี้ยังมีนักเรียนบางคนที่ยังให้รายละเอียดได้ไม่ครบถ้วน ครูจึงต้องถามและอธิบายเพิ่มเติมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงจะทำให้ นักเรียนสามารถอธิบายได้อย่างต่อเนื่องและเชื่อมโยงแต่ละขั้นตอนกันได้อย่างชัดเจน แต่ใน

ภาพรวมนักเรียนทราบแล้วว่า พืชแต่ละกลุ่มมีการสังเคราะห์ด้วยแสงในลักษณะแตกต่างกัน และสามารถเปรียบเทียบลักษณะการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชแต่ละกลุ่มได้

มโนมติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลจากการสัมภาษณ์มโนมติที่ 7 เรื่อง ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยตั้งคำถามว่า “ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แก่อะไรบ้าง และส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร” พบว่า นักเรียนสามารถอธิบายปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี เช่น ความเข้มแสง CO_2 และอุณหภูมิ โดยนักเรียนส่วนใหญ่เห็นว่า แสงและ CO_2 เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกระตุ้นการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่หากมีปริมาณต่ำหรือมีในระดับที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง โดยบอกผลของความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการตรึง CO_2 สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่ไม่เพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการตรึง CO_2 สูงขึ้นจะไม่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการตรึง CO_2 จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการตรึง CO_2 สูงขึ้นจะไม่เพิ่มขึ้น และระบุค่า ณ จุดต่าง ๆ ได้ เช่น จุดอิ่มตัว (saturation point) จุดชดเชยแสง (compensation point) นอกจากนี้นักเรียนบางคนจะกล่าวถึงปัจจัยจำกัด (limiting factor) ว่า เมื่อความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่มีผลในการจำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในขณะนั้น ความเข้มแสงเป็นปัจจัยจำกัด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงต่อไปก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดแล้ว แต่มีปัจจัยอื่นเป็นปัจจัยจำกัดแทน และถ้าต้องการให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นอีกก็ต้องพิจารณาว่าในขณะนั้นปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยจำกัดแทนความเข้มแสง เช่น ความเข้มข้นของ CO_2 ซึ่งถ้าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นได้ โดยตัวอย่างคำตอบมีดังนี้

นักเรียนหมายเลข 18:

“แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลมากที่สุดในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะพืชต้องใช้แสงในการเปลี่ยน CO_2 และน้ำให้เป็นน้ำตาลและออกซิเจน การเพิ่มความเข้มของแสงจะทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น แต่ถ้าแสงมากเกินไปก็อาจทำให้พืชเสียหายได้”

นักเรียนหมายเลข 5:

“ CO_2 เป็นปัจจัยในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะ CO_2 จะเข้ารูปากใบและถูกนำไปใช้ใน Calvin cycle ถ้า CO_2 สูงจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่ม แต่ถ้าต่ำจะทำให้การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้น้อยลง เพราะพืชจะไม่สามารถสร้างน้ำตาลได้เพียงพอ...”

“...จุดอิ่มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจุดที่เพิ่มความเข้มแล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น และพืช C_4 มีจุดอิ่มตัวต่ำกว่าพืช C_3 ”

นักเรียนหมายเลข 15:

“...อุณหภูมิ ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงทำงานได้ไม่ดี หรือทำให้พืชเสียการทำงานไปเลย อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้พืชหยุดสังเคราะห์แสงได้”

นักเรียนหมายเลข 29:

“หากปัจจัยจำกัดมีปริมาณมากขึ้นจนมากพอจะไม่ใช้ปัจจัยจำกัดอีก แต่อาจมีปัจจัยอื่นที่กลายเป็นปัจจัยจำกัดที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแทน...”

“...จุดอิ่มแสง หรือ *light saturation point* เป็นจุดที่ถ้าเพิ่มความเข้มแสงแล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เพิ่มขึ้น”

(สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 และ 14 พฤษภาคม 2567)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนจะเห็นได้ว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ถึงแม้จะเข้าใจในภาพรวมได้ดี โดยเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวกับแสง และ CO_2 ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ความเข้าใจในบางประเด็นยังไม่ชัดเจนหรือยังไม่ลึกซึ้ง เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยนักเรียนบางคนยังเข้าใจว่า อุณหภูมิสูงจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงทำงานได้ดี เพราะจะเร่งให้พืชทำงานเร็วขึ้น แต่ความเป็นจริงหากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ปัจจัยจำกัด รวมถึงกระบวนการโฟโตเรสไพเรชันที่เกี่ยวข้องกับออกซิเจน ครูจึงต้องให้ข้อมูลที่ถูกต้องและอธิบายกระบวนการที่เกี่ยวข้องซึ่งช่วยให้นักเรียนเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ นักเรียนบางคนยังบอกถึงการปรับตัวของพืชที่ช่วยให้สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น พืช C_4 ที่สามารถลดผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลและรายกลุ่ม

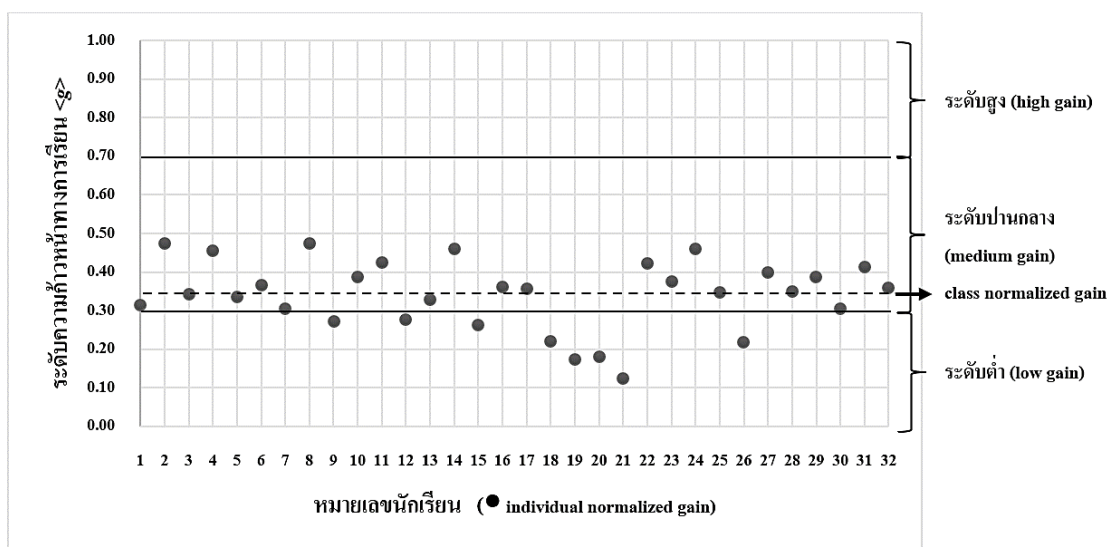
การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเพื่อหาพัฒนาการการเรียนรู้ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติโดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี ด้วยคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบวัดมโนคติของนักเรียน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี normalized gain, $\langle g \rangle$ ทั้งรายบุคคล (individual normalized gain) และรายกลุ่ม (class normalized gain) (Hake, 1998) และกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายของคะแนน ได้แก่

คะแนน 0.00 - 0.29 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ (low gain)

คะแนน 0.30 - 0.69 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง
(medium gain)

คะแนน 0.70 - 1.00 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง (high gain)
มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

คะแนนระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคลของนักเรียน จำนวน 32 คน พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในช่วงคะแนน 0.30 - 0.69 จำนวน 24 คน แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 75 และนักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในช่วงคะแนน 0.00 - 0.29 จำนวน 8 คน แสดงว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 25 โดยระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่มพบว่า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34 อยู่ในช่วงคะแนน 0.30 - 0.69 แสดงว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง จะเห็นได้ว่า การพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนคติโดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ระดับความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล
 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003)
 ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม

จากภาพประกอบ 9 การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 32 คน จะเห็นได้ว่า นักเรียนมากกว่าร้อยละ 60 (ร้อยละ 75) มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนนักเรียนร้อยละ 25 มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับต่ำ และระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง

4. การวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมนต์เป็นรายข้อในแต่ละมนต์ทั้ง 7 มนต์

การวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมนต์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายข้อในแต่ละมนต์ทั้ง 7 มนต์ โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ และร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาระดับความเข้าใจในมนต์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม และกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความเข้าใจในมนต์ของ Abraham et al. (1994) ได้แก่

1) ความเข้าใจในมิติในระดับที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูก และการให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละมิติ ให้ 3 คะแนน

2) ความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding: PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูก และการให้เหตุผลถูกต้องขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน ให้ 2 คะแนน

3) ความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific alternative conception: PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกบางส่วน แต่บางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเลือกคำตอบถูกแต่ไม่อธิบายคำตอบ ให้ 1 คะแนน

4) ความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน (alternative conception: AC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด ให้ 0 คะแนน

5) ความไม่เข้าใจหรือไม่มีมิติ (no understanding: NU or no conception: NC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม ให้ 0 คะแนน
มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ระดับความเข้าใจในมิติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45.16 รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) คิดเป็นร้อยละ 40.63 ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมิติ (NU/NC) คิดเป็นร้อยละ 10.78 ระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) คิดเป็นร้อยละ 3.13 และระดับที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.31 ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมิติ (NU/NC) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.31 ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 8.75 และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 6.09 แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 37.34 และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 47.50 ดังตาราง 10 และสรุปได้ดังภาพประกอบ 10

ตาราง 10 จำนวนความถี่และร้อยละระดับความเข้าใจมโนติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายข้อในแต่ละมโนติทั้ง 7 มโนติ

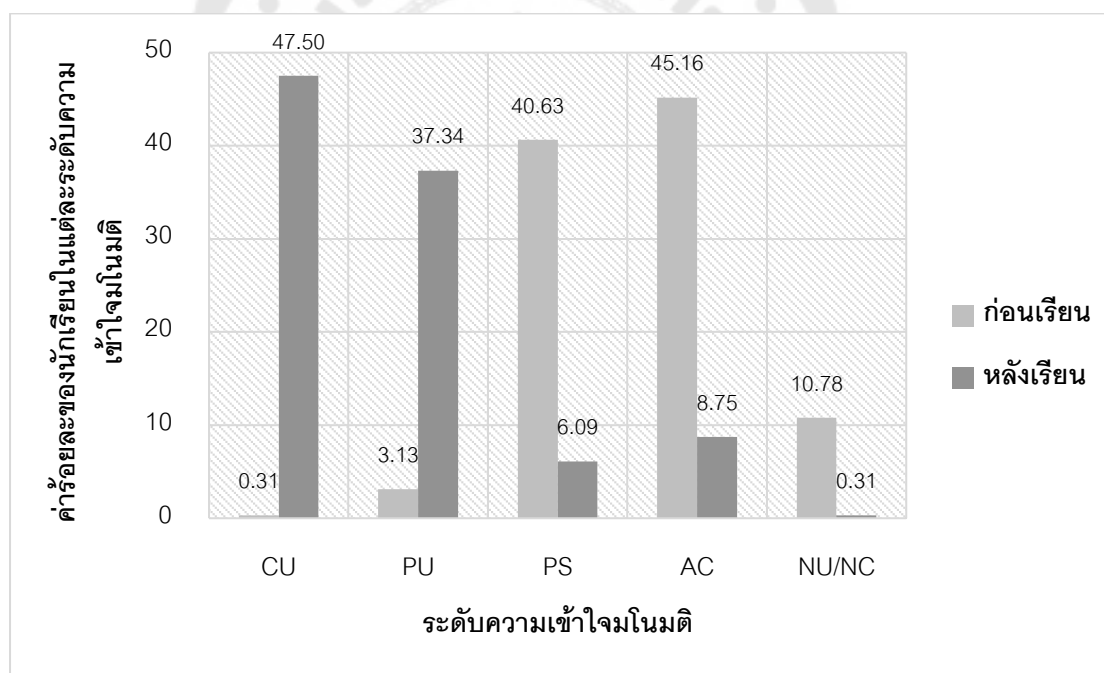
N = 32

มโนติ	ข้อที่	จำนวนนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจมโนติ (คน)									
		CU (3 คะแนน)		PU (2 คะแนน)		PS (1 คะแนน)		AC (0 คะแนน)		NU/NC (0 คะแนน)	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1. โครงสร้างของคลอโรพลาสต์	1	2	20	11	12	11	0	6	0	2	0
	2	0	15	4	12	22	4	5	1	1	0
	ร้อยละ	3.13	54.69	23.44	37.50	51.56	6.25	17.19	1.56	4.69	0.00
2. พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง	3	0	8	1	17	7	3	20	4	4	0
	4	0	20	0	10	17	2	12	0	3	0
	5	0	14	1	15	15	3	11	0	5	0
	ร้อยละ	0.00	43.75	2.08	43.75	40.63	8.33	44.79	4.17	12.50	0.00
3. ปฏิกิริยาแสง	6	0	13	0	10	11	2	18	7	3	0
	7	0	22	0	10	16	0	14	0	2	0
	8	0	22	0	9	16	0	15	1	1	0
	9	0	8	0	10	5	3	21	11	6	0
	ร้อยละ	0.00	50.78	0.00	30.47	37.50	3.91	53.13	14.84	9.38	0.00
4. ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	10	0	15	1	11	23	4	8	2	0	0
	11	0	15	0	14	16	2	13	1	3	0
	12	0	10	0	14	17	5	10	3	5	0
	13	0	14	0	13	17	3	9	2	6	0
	ร้อยละ	0.00	42.19	0.78	40.63	57.03	10.94	31.25	6.25	10.94	0.00
5. โฟโตเรสไพเรชัน	14	0	21	0	9	12	1	16	1	4	0
	15	0	12	0	14	8	1	19	5	5	0
	ร้อยละ	0.00	51.56	0.00	35.94	31.25	3.13	54.69	9.38	14.06	0.00
6. การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	16	0	18	1	10	14	1	15	3	2	0
	17	0	17	0	12	14	2	12	1	6	0
	18	0	13	1	12	7	2	22	4	2	1
	ร้อยละ	0.00	50.00	2.08	35.42	36.46	5.21	51.04	8.33	10.42	1.04

ตาราง 10 (ต่อ)

N = 32

มโนคติ	ข้อที่	จำนวนนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจมโนคติ (คน)									
		CU (3 คะแนน)		PU (2 คะแนน)		PS (1 คะแนน)		AC (0 คะแนน)		NU/NC (0 คะแนน)	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
7. ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	19	0	13	0	16	4	0	24	3	4	0
	20	0	14	0	9	8	1	19	7	5	1
ด้วยแสง	ร้อยละ	0.00	42.19	0.00	39.06	18.75	1.56	67.19	15.63	14.06	1.56
ร้อยละในภาพรวม		0.31	47.50	3.13	37.34	40.63	6.09	45.16	8.75	10.78	0.31



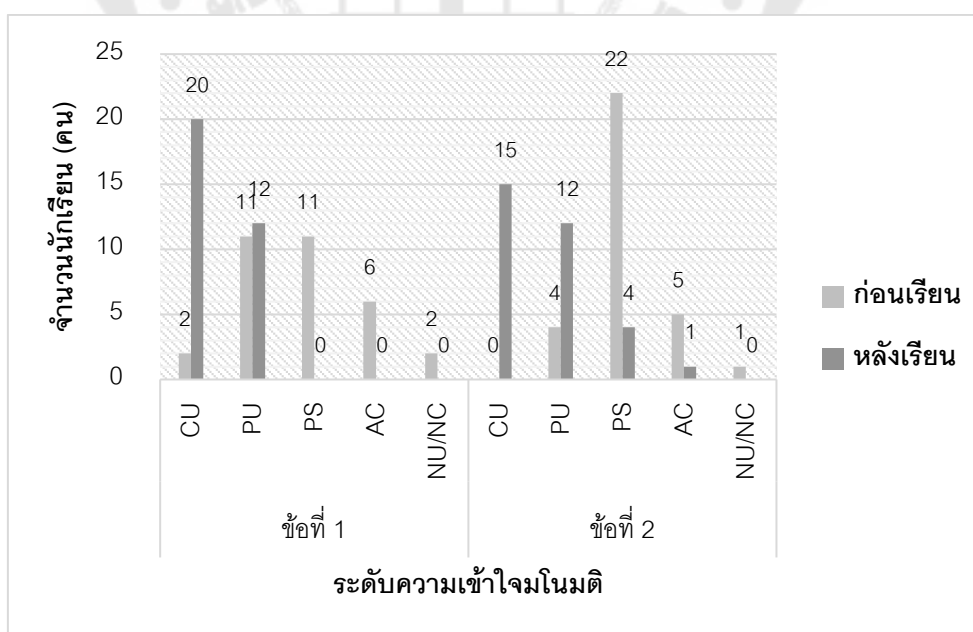
ภาพประกอบ 10 ระดับความเข้าใจมโนคติในภาพรวม (แบบทดสอบทั้งฉบับ) เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสัน และฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม

เมื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อในแต่ละมิติทั้ง 7 มิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

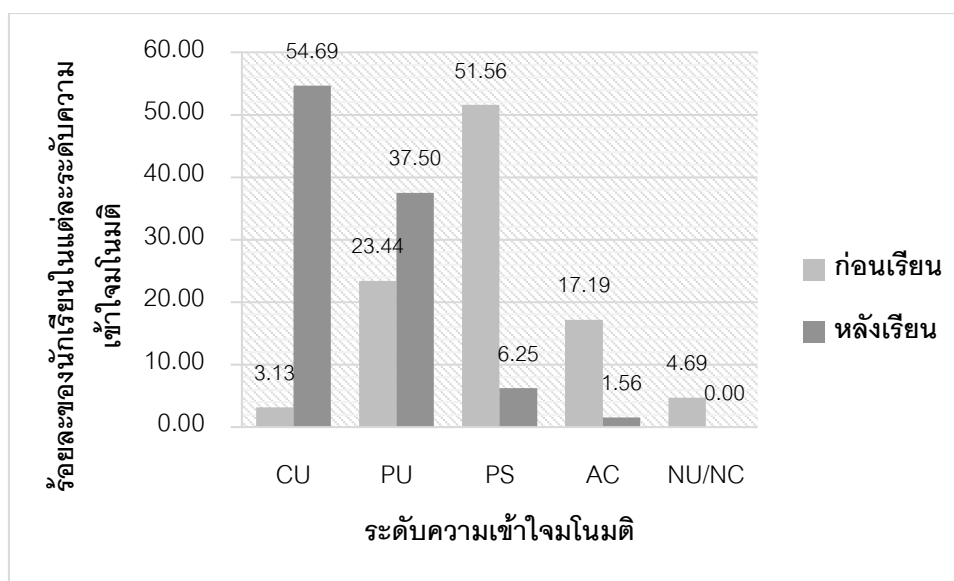
มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์

ระดับความเข้าใจในมิติที่ 1 เรื่อง โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ เป็นรายข้อ จำนวน 2 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) มากที่สุด (ร้อยละ 51.56) รองลงมาคือ ระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 23.44) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 17.19) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่สนใจ (NU/NC) (ร้อยละ 4.69) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 3.13) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่สนใจ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 1.56) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 6.25) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 37.50) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 54.69) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 11 และ 12



ภาพประกอบ 11 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์เป็นรายข้อ

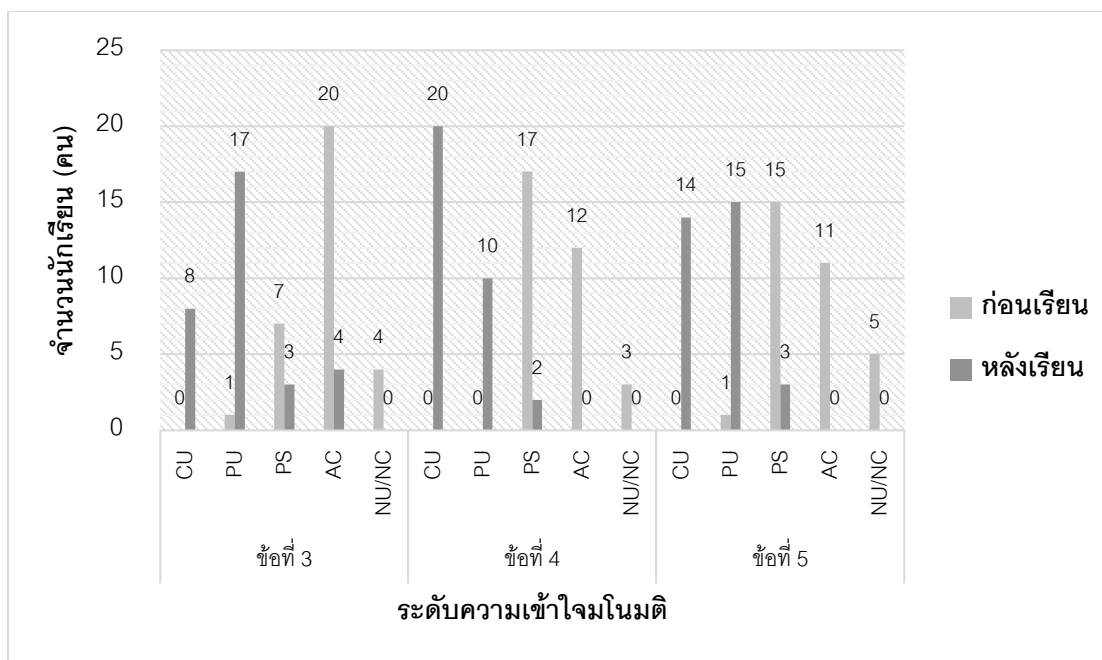


ภาพประกอบ 12 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในภาพรวม

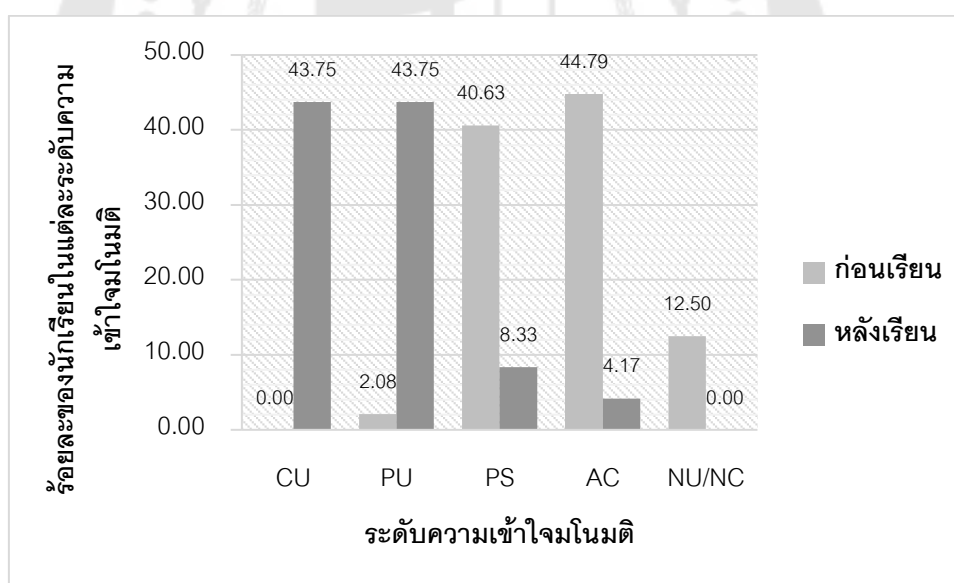
มโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง

ระดับความเข้าใจในมิติที่ 2 เรื่อง พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง เป็นรายข้อ จำนวน 3 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 44.79) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 40.63) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 12.50) และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 2.08) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 4.17) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 8.33) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 43.75) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 43.75) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 13 และ 14



ภาพประกอบ 13 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสงเป็นรายข้อ

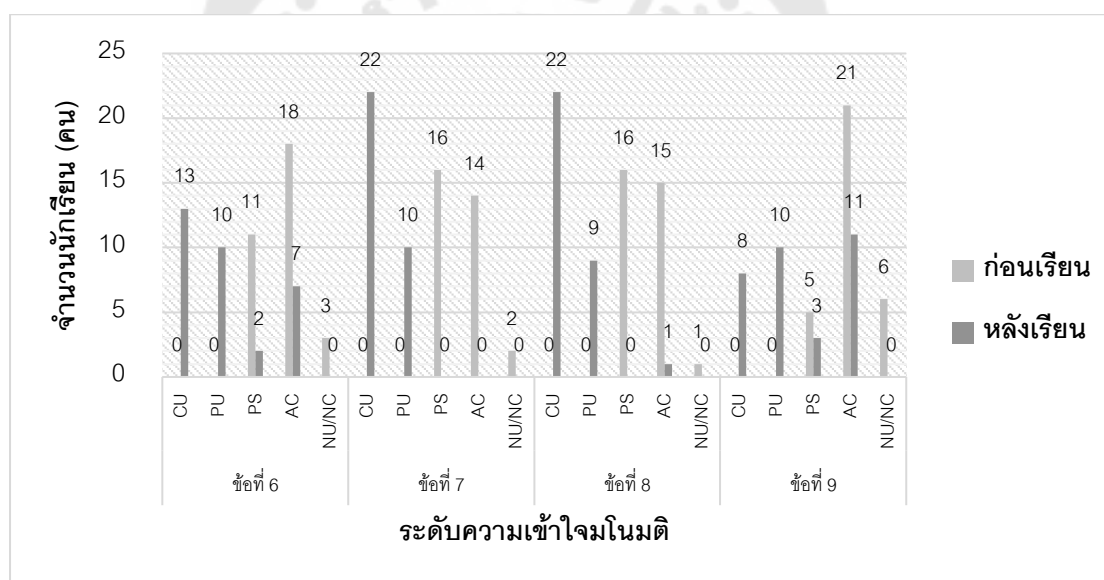


ภาพประกอบ 14 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสงในภาพรวม

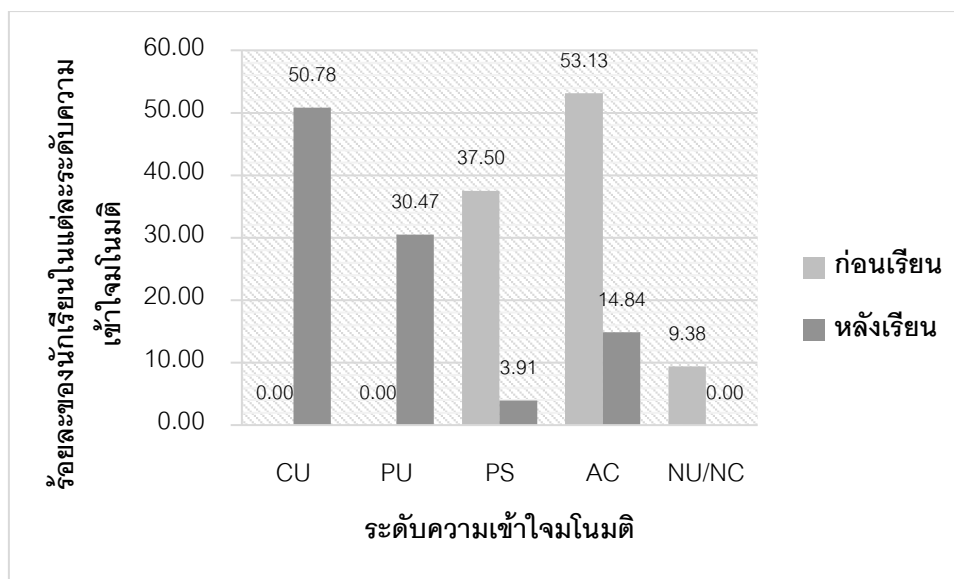
มโนคติที่ 3 ปฏิกริยาแสง

ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 3 เรื่อง ปฏิกริยาแสง เป็นรายชื่อ จำนวน 4 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 53.13) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 37.50) และระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 9.38) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 14.84) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 3.91) ลดลง แต่มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 30.47) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 50.78) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 15 และ 16



ภาพประกอบ 15 ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 3 ปฏิกริยาแสงเป็นรายชื่อ

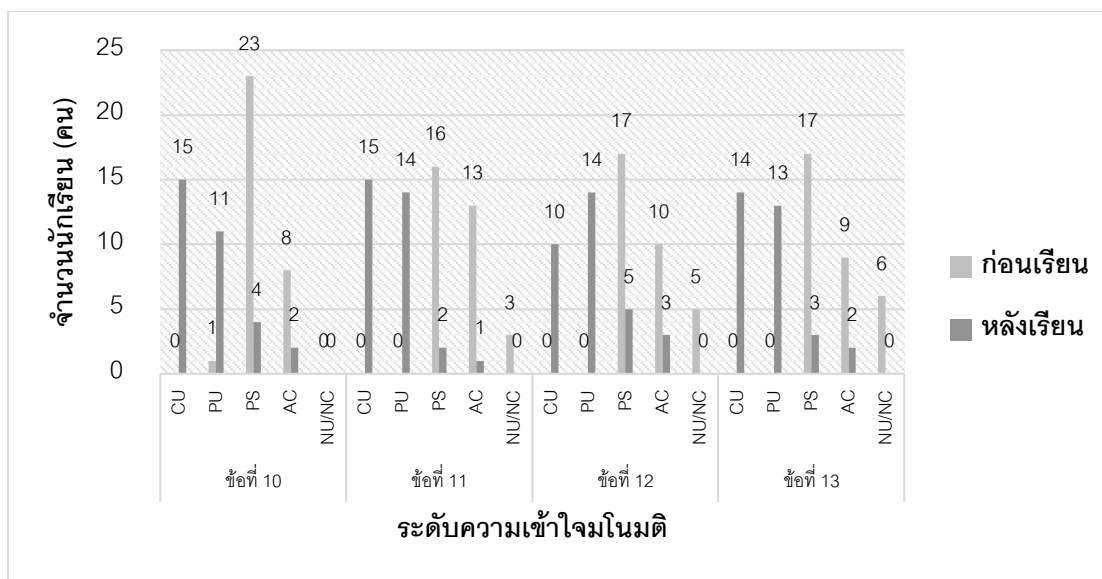


ภาพประกอบ 16 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 3 ปฏิบัติงานในภาพรวม

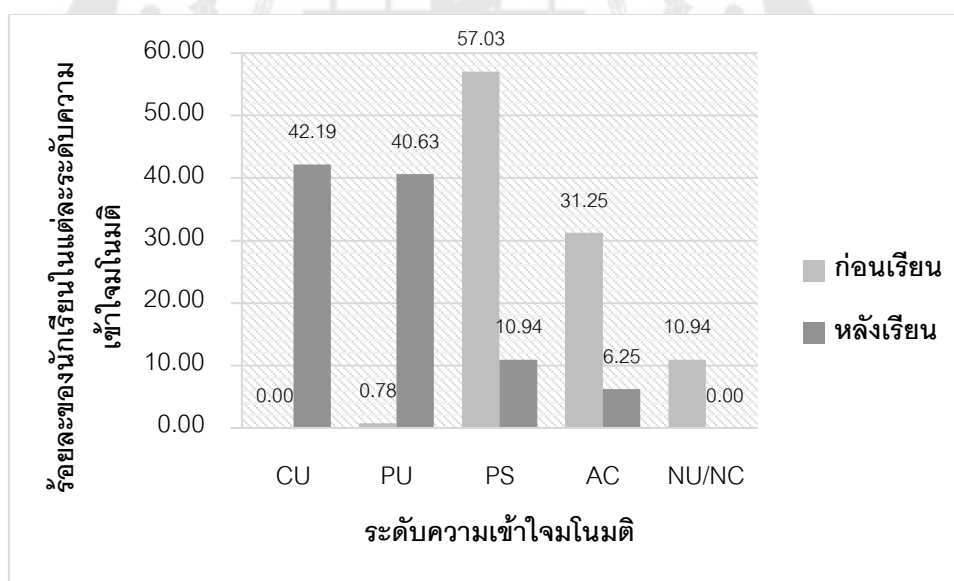
มโนคติที่ 4 ปฏิบัติงานการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ระดับความเข้าใจในมิติที่ 4 เรื่อง ปฏิบัติงานการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นรายข้อ จำนวน 4 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) มากที่สุด (ร้อยละ 57.03) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 31.25) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 10.94) และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 0.78) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 6.25) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 10.94) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 40.63) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 42.19) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 17 และ 18



ภาพประกอบ 17 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
เป็นรายข้อ



ภาพประกอบ 18 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ในภาพรวม

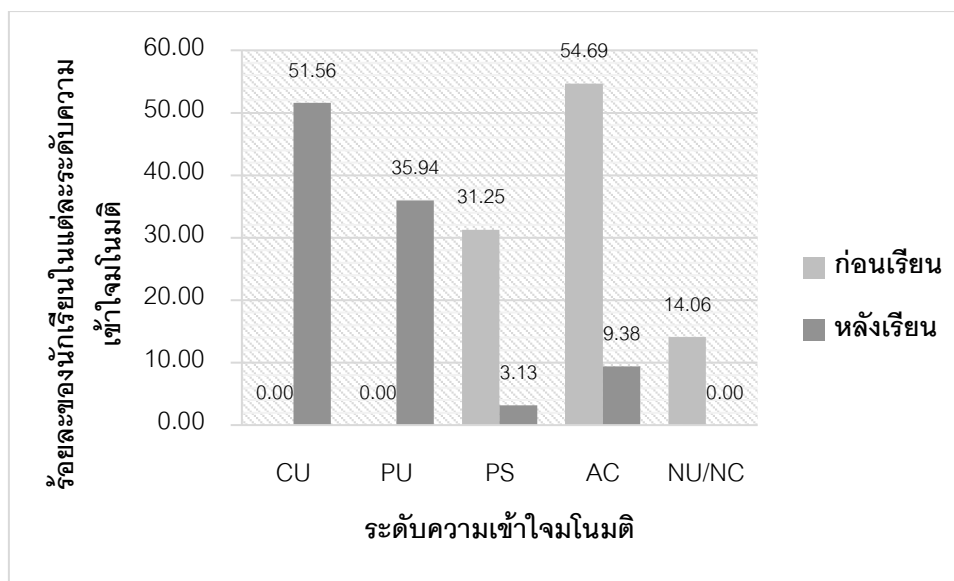
มโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน

ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 5 เรื่อง โฟโตเรสไพเรชัน เป็นรายข้อ จำนวน 2 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 54.69) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 31.25) และระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 14.06) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 9.38) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 3.13) ลดลง แต่มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 35.94) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 51.56) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 19 และ 20



ภาพประกอบ 19 ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชันเป็นรายข้อ

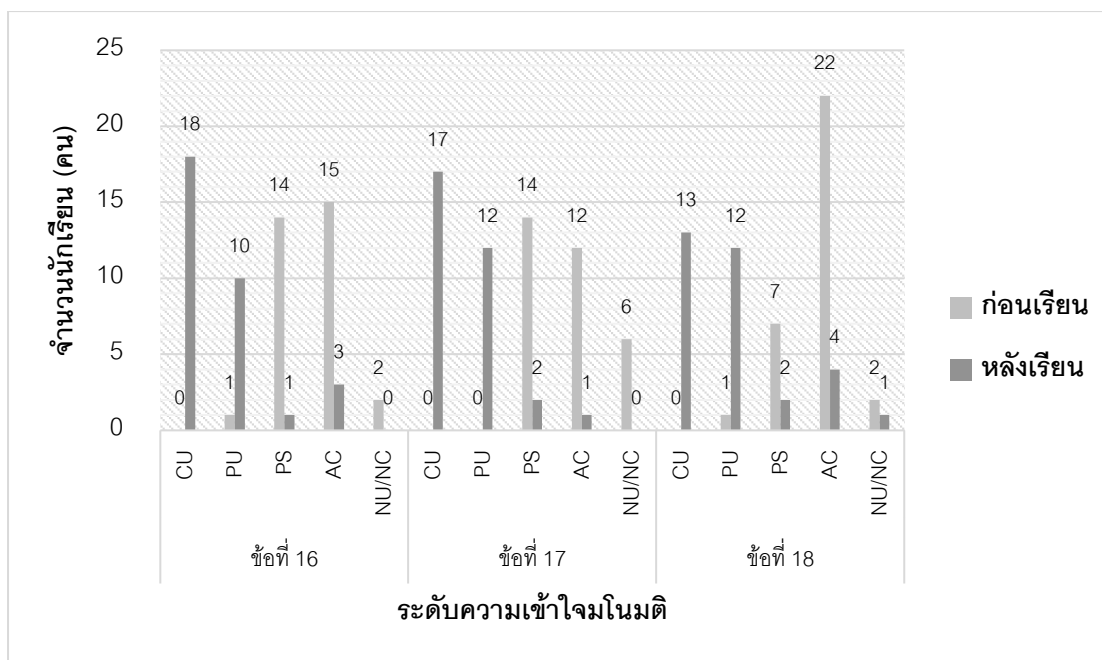


ภาพประกอบ 20 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชันในภาพรวม

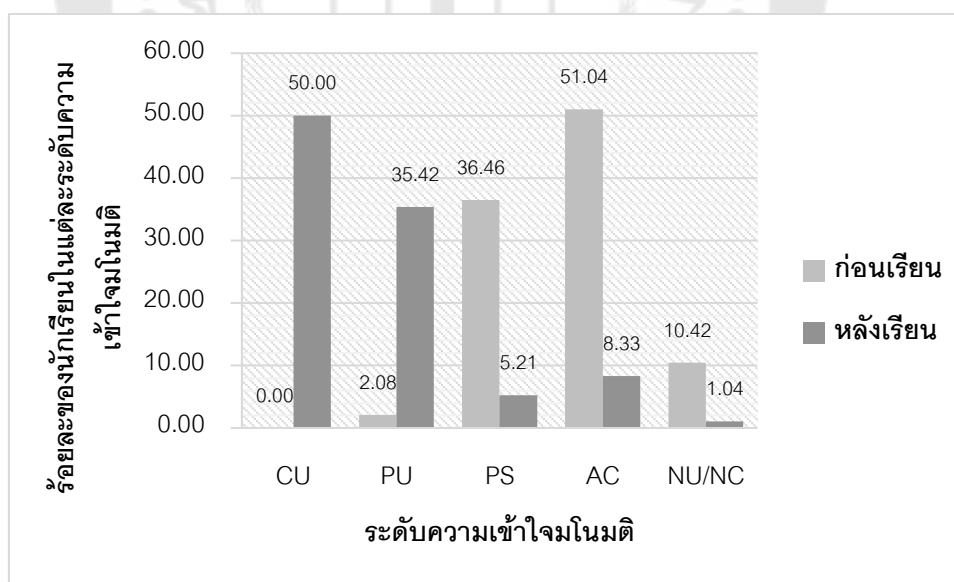
มโนคติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ระดับความเข้าใจในมิติที่ 6 เรื่อง การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นรายข้อ จำนวน 3 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 51.04) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 34.46) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีในมิติ (NU/NC) (ร้อยละ 10.42) และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 2.08) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีในมิติ (NU/NC) (ร้อยละ 1.04) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 8.33) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 5.21) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 35.42) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 50.00) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 21 และ 22



ภาพประกอบ 21 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
เป็นรายข้อ

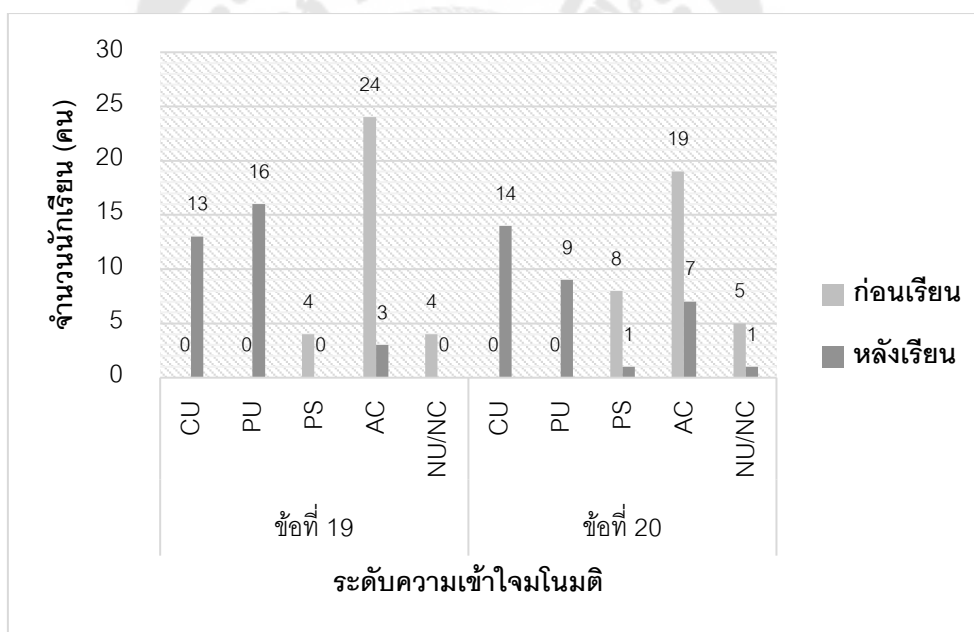


ภาพประกอบ 22 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ในภาพรวม

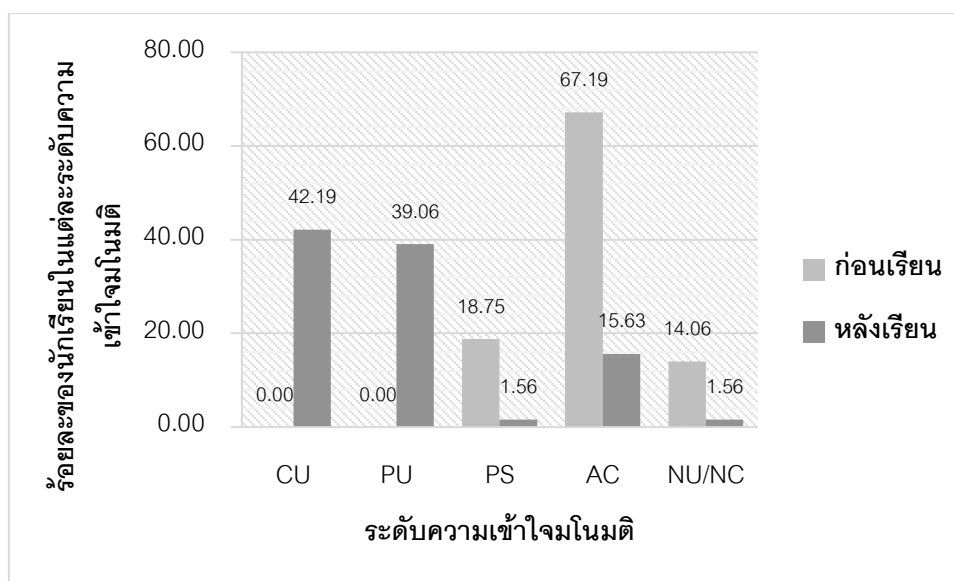
มโนคติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 7 เรื่อง ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นรายชื่อ จำนวน 2 ข้อ ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 67.19) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 18.75) และระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 14.06) ตามลำดับ

หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 1.56) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 15.63) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 1.56) ลดลง แต่มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 39.06) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 42.19) เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 23 และ 24



ภาพประกอบ 23 ระดับความเข้าใจมโนคติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง
เป็นรายชื่อ



ภาพประกอบ 24 ระดับความเข้าใจในมิติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเกตด้วยแสง
ในภาพรวม

จากการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ จะเห็นได้ว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นทั้ง 7 มโนคติ หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ โดยมโนคติที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจสู่ระดับที่สมบูรณ์ (CU) มากที่สุด ได้แก่ มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ (ร้อยละ 54.69) รองลงมา ได้แก่ มโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน (ร้อยละ 51.56) มโนคติที่ 3 ปฏิริยาแสง (ร้อยละ 50.78) มโนคติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 50.00) และมโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิริยาแสง (43.75) ตามลำดับ และน้อยที่สุด ได้แก่ มโนคติที่ 4 ปฏิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมโนคติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเกตด้วยแสง (ร้อยละ 42.19) และยังพบว่า มโนคติที่นักเรียนไม่มีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ได้แก่ มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ มโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิริยาแสง มโนคติที่ 3 ปฏิริยาแสง มโนคติที่ 4 ปฏิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และมโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน

5. การวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนเป็นรายบุคคล

การวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 32 คน โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อและทั้งชุดของแบบทดสอบ และใช้เกณฑ์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเพื่อจะได้ทราบจำนวนนักเรียนที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง (ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557; พิชชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552) ได้แก่

เกณฑ์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อ

จากคะแนนระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อ คะแนนเต็ม 3 คะแนน (CU) ได้แก่

1) ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติจากคะแนน 0 คะแนน (NU หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) หมายถึง นักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติในข้อนั้น

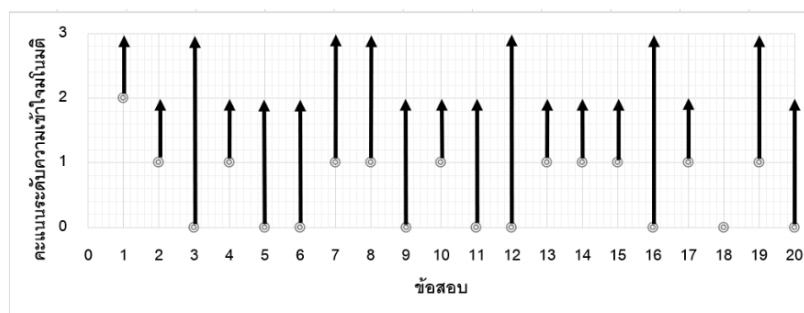
2) ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) หมายถึง นักเรียนมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติในข้อนั้น

เกณฑ์การพัฒนาความเข้าใจในมิติทั้งชุดของแบบทดสอบ ได้แก่

ถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนามโนมติเป็นรายข้อเท่ากับหรือเกิน 10 ข้อ จากทั้งหมด 20 ข้อ (มีการพัฒนามโนมติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดของแบบทดสอบวัดมโนมติ) หมายถึง นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

นักเรียนหมายเลข 1

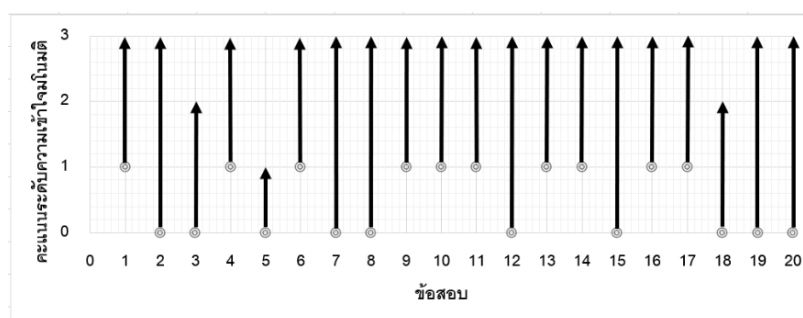
นักเรียนหมายเลข 1 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 11 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนมติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 1

นักเรียนหมายเลข 2

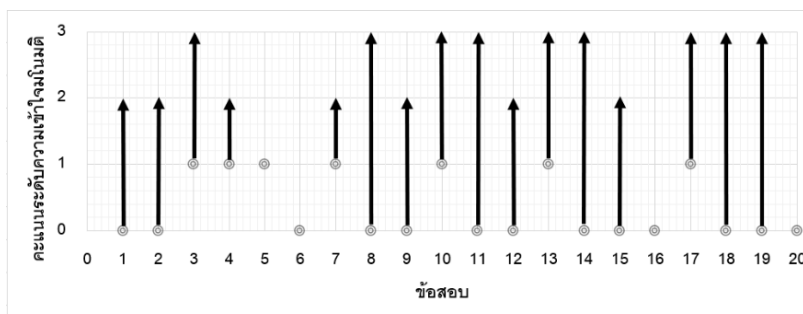
นักเรียนหมายเลข 2 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 9 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 19 ข้อ โดยมีการพัฒนานโน้ตรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้ต เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตของนักเรียนหมายเลข 2

นักเรียนหมายเลข 3

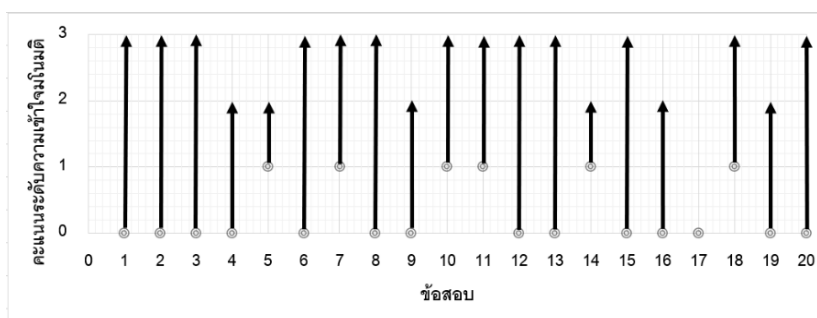
นักเรียนหมายเลข 3 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนานโน้ตรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้ต เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตของนักเรียนหมายเลข 3

นักเรียนหมายเลข 4

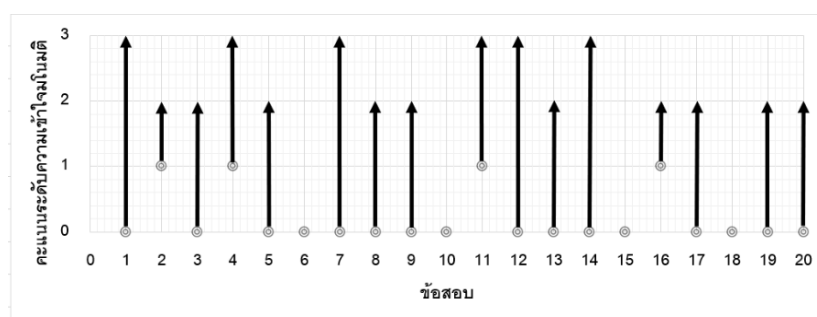
นักเรียนหมายเลข 4 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 13 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 17 ข้อ โดยมีการพัฒนานโน้ตรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้ต เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตของนักเรียนหมายเลข 4

นักเรียนหมายเลข 5

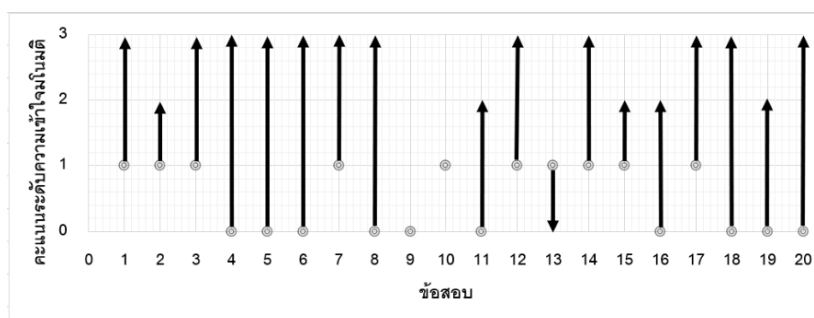
นักเรียนหมายเลข 5 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 12 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนานโน้ตรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้ต เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้ตของนักเรียนหมายเลข 5

นักเรียนหมายเลข 6

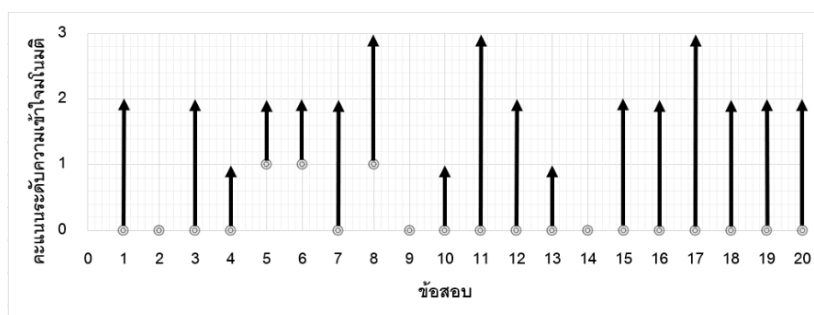
นักเรียนหมายเลข 6 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 9 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 6 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนคติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโมเดล เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 6

นักเรียนหมายเลข 7

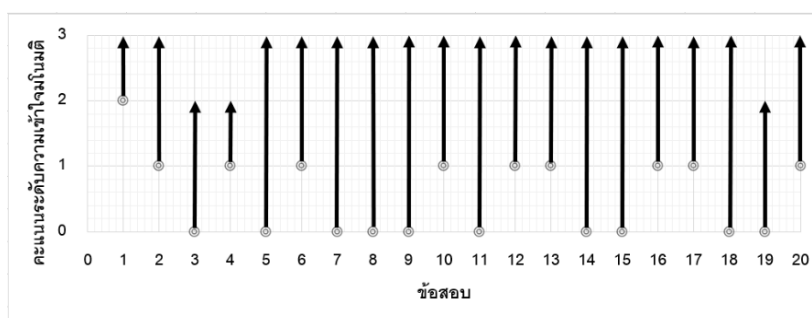
นักเรียนหมายเลข 7 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 11 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 1 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนคติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโมเดล เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 การพัฒนาระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนหมายเลข 7

นักเรียนหมายเลข 8

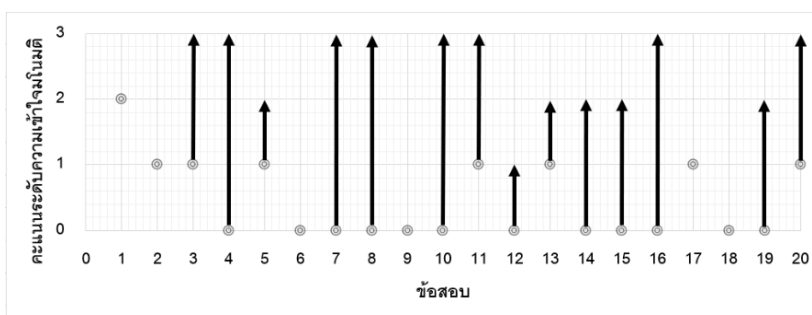
นักเรียนหมายเลข 8 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้มนวลหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 18 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้มนวล เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้มนวลของนักเรียนหมายเลข 8

นักเรียนหมายเลข 9

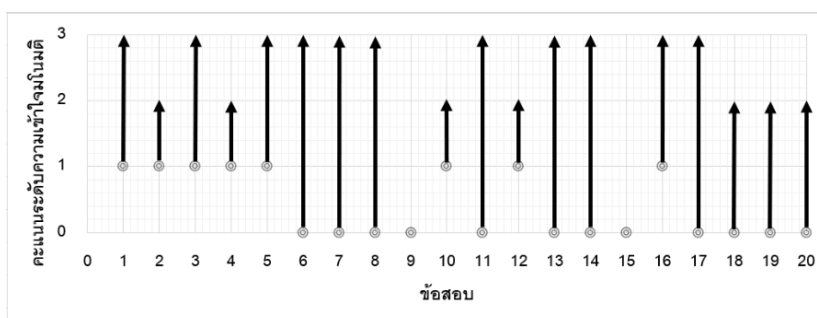
นักเรียนหมายเลข 9 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจโน้มนวลหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 11 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโน้มนวล เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 การพัฒนาระดับความเข้าใจโน้มนวลของนักเรียนหมายเลข 9

นักเรียนหมายเลข 10

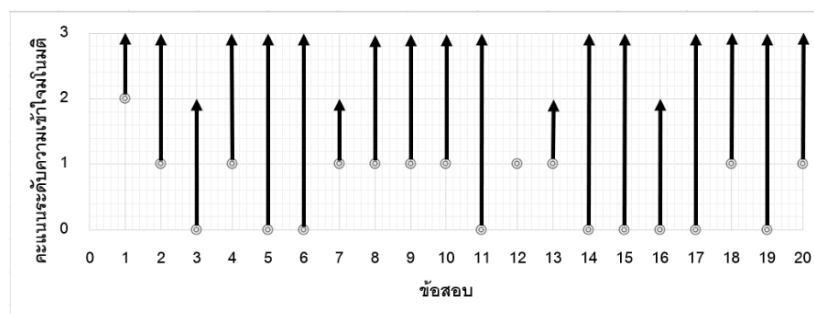
นักเรียนหมายเลข 10 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 10

นักเรียนหมายเลข 11

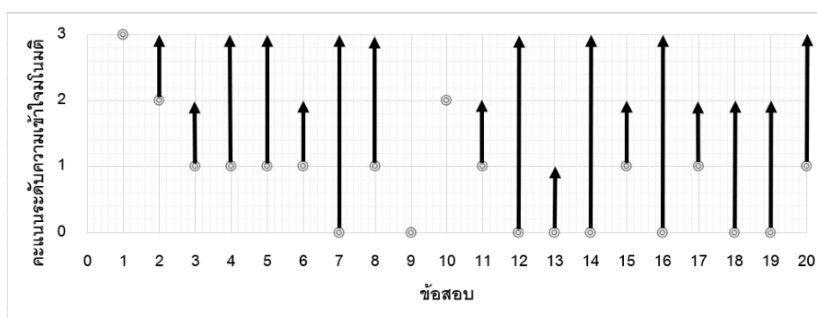
นักเรียนหมายเลข 11 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 9 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 16 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 11

นักเรียนหมายเลข 12

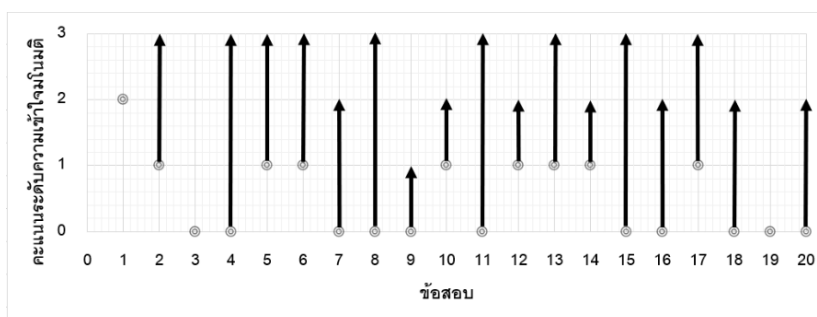
นักเรียนหมายเลข 12 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 6 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 10 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 12

นักเรียนหมายเลข 13

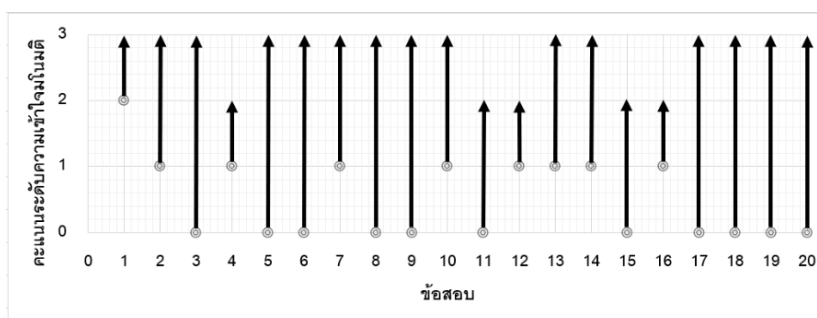
นักเรียนหมายเลข 13 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 5 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 13 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 13

นักเรียนหมายเลข 14

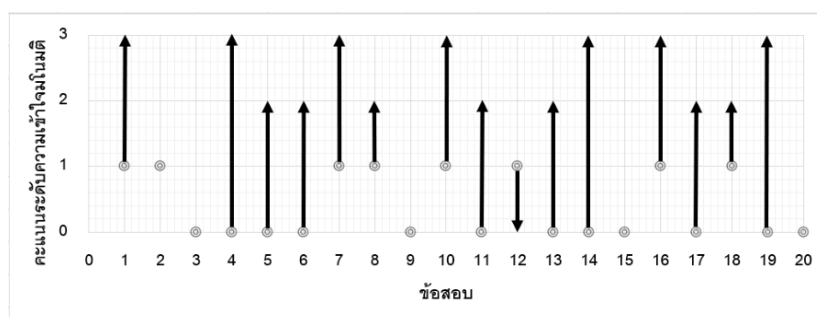
นักเรียนหมายเลข 14 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 11 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 5 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 16 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 14

นักเรียนหมายเลข 15

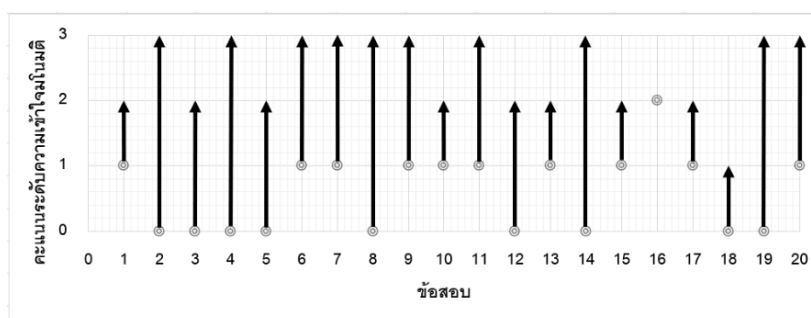
นักเรียนหมายเลข 15 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 15

นักเรียนหมายเลข 16

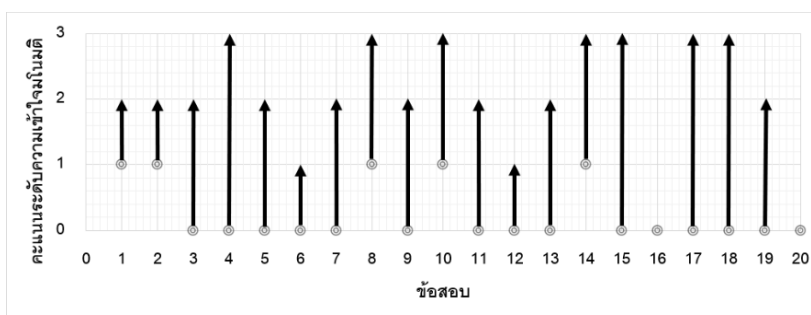
นักเรียนหมายเลข 16 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 5 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 13 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 16

นักเรียนหมายเลข 17

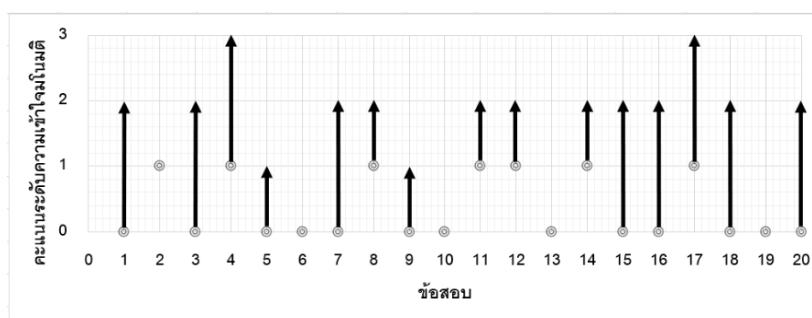
นักเรียนหมายเลข 17 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 11 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 17

นักเรียนหมายเลข 18

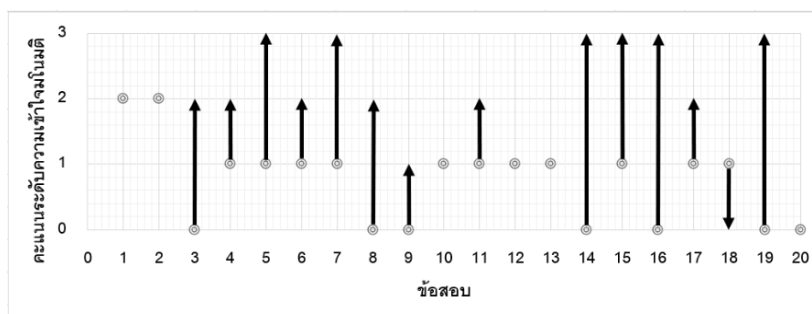
นักเรียนหมายเลข 18 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 9 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 42



ภาพประกอบ 42 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 18

นักเรียนหมายเลข 19

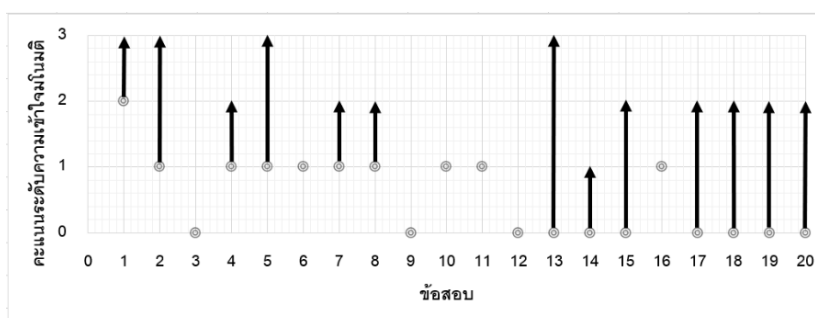
นักเรียนหมายเลข 19 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 5 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 8 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 43



ภาพประกอบ 43 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 19

นักเรียนหมายเลข 20

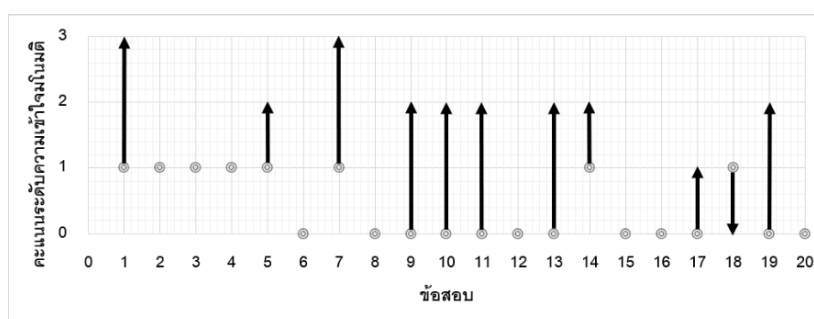
นักเรียนหมายเลข 20 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 6 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 8 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 44 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 20

นักเรียนหมายเลข 21

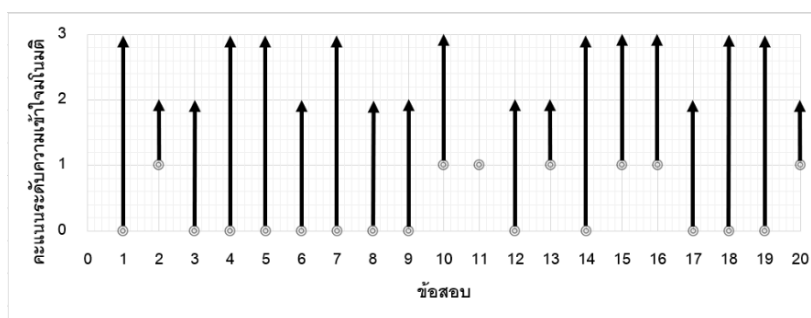
นักเรียนหมายเลข 21 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 5 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 7 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 45 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 21

นักเรียนหมายเลข 22

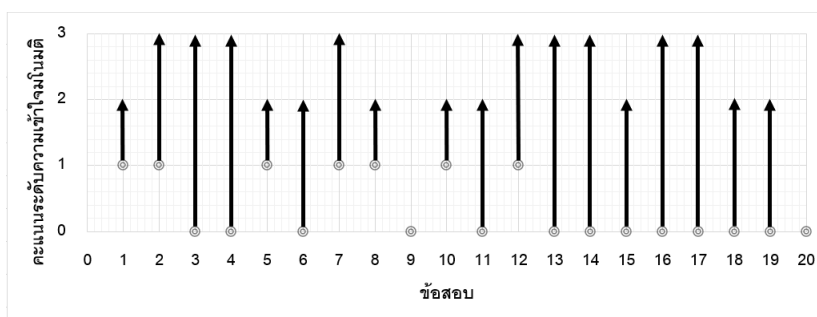
นักเรียนหมายเลข 22 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 13 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 16 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 22

นักเรียนหมายเลข 23

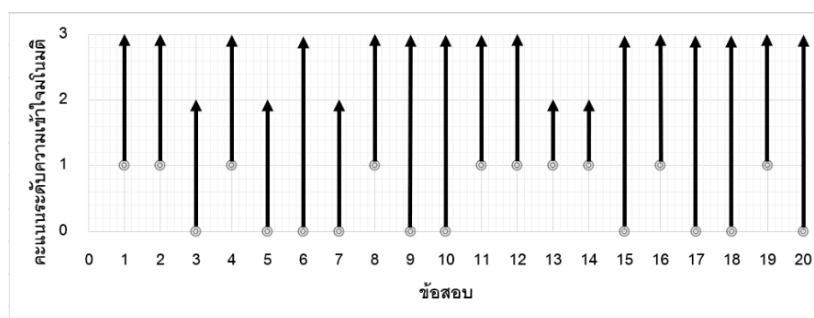
นักเรียนหมายเลข 23 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 11 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 47



ภาพประกอบ 47 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 23

นักเรียนหมายเลข 24

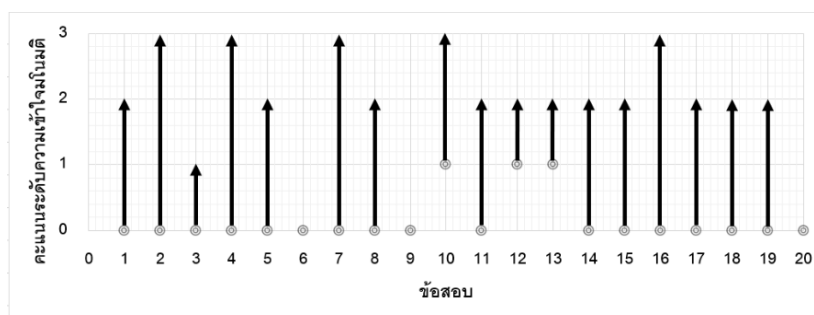
นักเรียนหมายเลข 24 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 18 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 48



ภาพประกอบ 48 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 24

นักเรียนหมายเลข 25

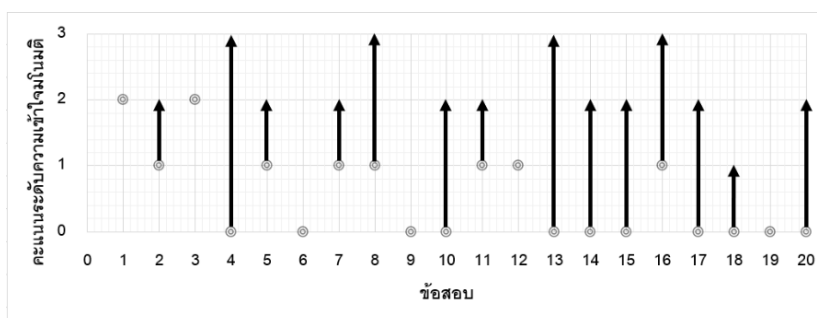
นักเรียนหมายเลข 25 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 13 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 1 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 49



ภาพประกอบ 49 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 25

นักเรียนหมายเลข 26

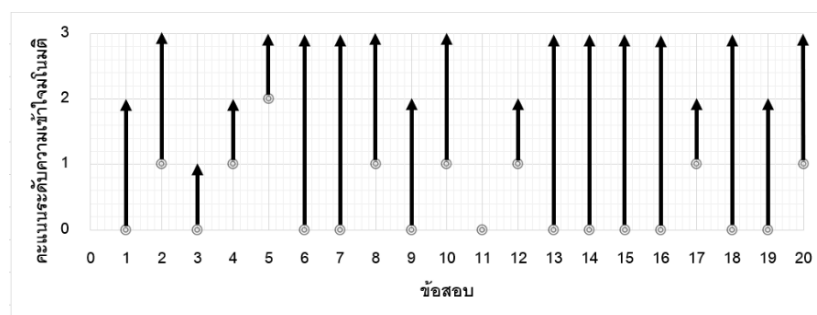
นักเรียนหมายเลข 26 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 9 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 50



ภาพประกอบ 50 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 26

นักเรียนหมายเลข 27

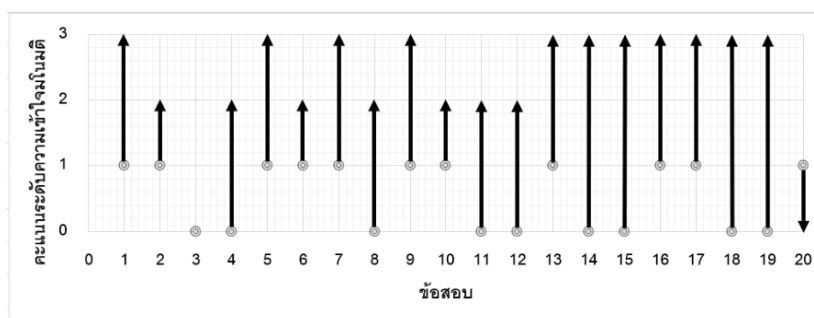
นักเรียนหมายเลข 27 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 10 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 4 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 51



ภาพประกอบ 51 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 27

นักเรียนหมายเลข 28

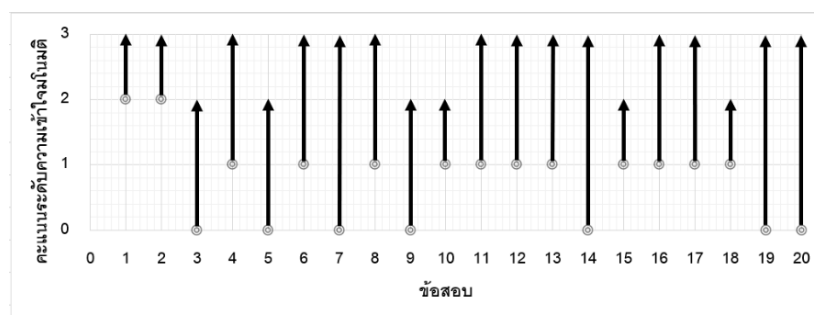
นักเรียนหมายเลข 28 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 15 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 52



ภาพประกอบ 52 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 28

นักเรียนหมายเลข 29

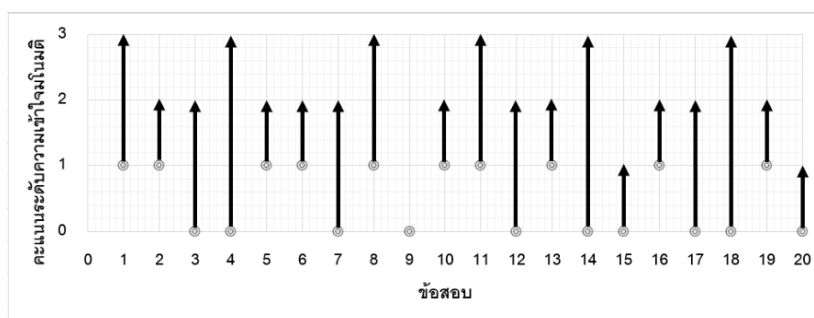
นักเรียนหมายเลข 29 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 15 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 53



ภาพประกอบ 53 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 29

นักเรียนหมายเลข 30

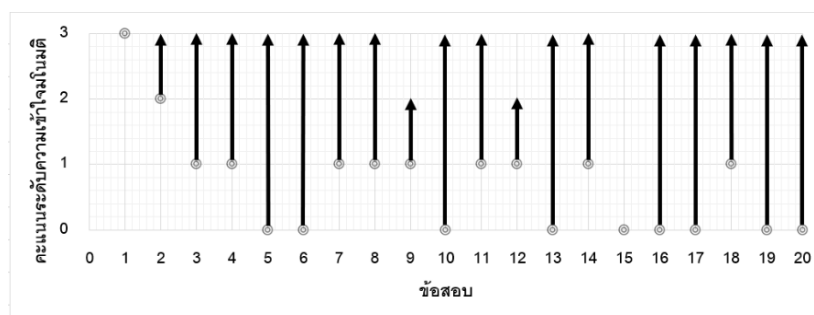
นักเรียนหมายเลข 30 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 3 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 10 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 54



ภาพประกอบ 54 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 30

นักเรียนหมายเลข 31

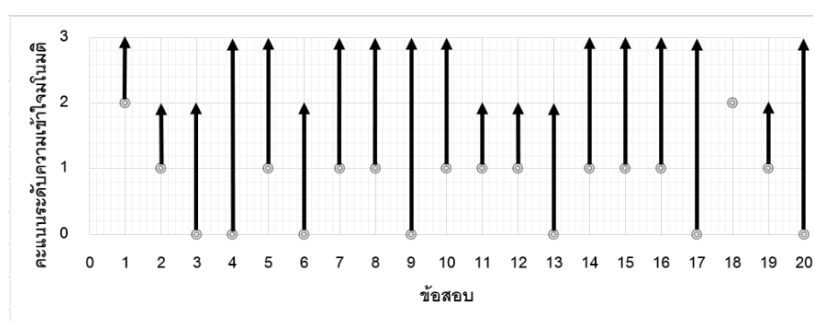
นักเรียนหมายเลข 31 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 8 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 15 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 55



ภาพประกอบ 55 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 31

นักเรียนหมายเลข 32

นักเรียนหมายเลข 32 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติหลังเรียนเป็นรายข้อ จากคะแนน 0 คะแนน (NU/NC หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จำนวน 7 ข้อ รวมทั้งหมดจำนวน 14 ข้อ โดยมีการพัฒนามโนติรายข้อเกินครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อสอบทั้งหมดแสดงว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ดังภาพประกอบ 56



ภาพประกอบ 56 การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติของนักเรียนหมายเลข 32

จากการวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 32 คน โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อและทั้งหมดของแบบทดสอบ พบว่านักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติจำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 84.38 ได้แก่ นักเรียนหมายเลข 1 - 17, 22 - 25 และ 27 - 32 และนักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจในมิติจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 15.63 ได้แก่ นักเรียนหมายเลข 18 - 21 และ 26 จะเห็นได้ว่า นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติแต่ละมโนติสูงขึ้นและเกิดการพัฒนาความเข้าใจในมิติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ

6. การตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้

การตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี ประกอบด้วย ด้านเนื้อหา ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวมในแต่ละข้อคำถามกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ได้แก่

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย

ค่าคะแนนเฉลี่ย ตั้งแต่ 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (4.37 ± 0.49) โดยความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับมาก (4.29 ± 0.60) ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด (4.53 ± 0.56) ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก (4.23 ± 0.53) และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมาก (4.07 ± 0.44) ดังตาราง 11

ตาราง 11 ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสัน และฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

N = 32

ข้อที่	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} \pm SD$, คะแนนเต็ม 5 คะแนน)	แปลผล
ด้านเนื้อหา			
1.	เนื้อหาที่สอนมีความครบถ้วน สมบูรณ์และครอบคลุมกับ วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้	4.72 $\pm$ 0.46	มากที่สุด
2.	เนื้อหามีความน่าสนใจและ ลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยาก	4.16 $\pm$ 0.63	มาก
3.	เนื้อหาที่สอนมีความเหมาะสม กับความสามารถและระดับของ ผู้เรียน	4.25 $\pm$ 0.57	มาก
4.	เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาในการ จัดการเรียนรู้	4.03 $\pm$ 0.54	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม		4.29 $\pm$ 0.60	มาก
ด้านกิจกรรมการเรียนรู้			
5.	แจ้งผลการเรียนรู้/จุดประสงค์ การเรียนรู้ให้ผู้เรียนทราบอย่าง ชัดเจน	4.78 $\pm$ 0.42	มากที่สุด
6.	กิจกรรมการเรียนรู้สนุกและ น่าสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนตื่นตัว	4.72 $\pm$ 0.46	มากที่สุด
7.	ผู้สอนมีการใช้คำถามซักถาม ผู้เรียนบ่อย ๆ และเปิดโอกาสให้ ผู้เรียนซักถาม	4.66 $\pm$ 0.48	มากที่สุด
8.	กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริม ผู้เรียนให้ฝึกปฏิบัติจริง มีการ จัดการและการแก้ปัญหา	4.78 $\pm$ 0.42	มากที่สุด
9.	ผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการคิด คิด วิเคราะห์ และคิดสร้างสรรค์	4.03 $\pm$ 0.65	มาก

ตาราง 11 (ต่อ)

N = 32

ข้อที่	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} \pm SD$, คะแนนเต็ม 5 คะแนน)	แปลผล
10.	ผู้เรียนได้ทำงานร่วมกันทั้งเป็นกลุ่มและรายบุคคล	4.84 $\pm$ 0.37	มากที่สุด
11.	ผู้เรียนได้แสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ	4.38 $\pm$ 0.55	มาก
12.	ผู้สอนมีการเสริมแรงให้นักเรียนที่ร่วมกิจกรรมการเรียนรู้	4.06 $\pm$ 0.56	มาก
13.	ผู้สอนมีความตั้งใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	4.72 $\pm$ 0.46	มากที่สุด
14.	กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมสำหรับเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้เกิดการพัฒนามโนมติได้	4.28 $\pm$ 0.46	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม		4.53 $\pm$ 0.56	มากที่สุด
ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้			
15.	ผู้สอนใช้สื่อการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและหลากหลาย	4.19 $\pm$ 0.59	มาก
16.	สื่อการจัดการเรียนรู้มีความน่าสนใจและทันสมัย	4.22 $\pm$ 0.49	มาก
17.	สื่อการจัดการเรียนรู้ช่วยให้เข้าใจได้ง่าย	4.28 $\pm$ 0.52	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม		4.23 $\pm$ 0.53	มาก
ด้านการวัดและประเมินผล			
18.	ผู้สอนมีการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยวิธีการที่หลากหลายและเหมาะสม	4.31 $\pm$ 0.47	มาก
19.	ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการวัดและประเมินผล	3.97 $\pm$ 0.31	มาก
20.	แบบทดสอบวัดมโนมติมีความเหมาะสมกับผู้เรียน	3.94 $\pm$ 0.44	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม		4.07 $\pm$ 0.44	มาก

จากตาราง 11 การตรวจสอบความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้
ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของ
คอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จะเห็นได้ว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้าน
เนื้อหา ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านกิจกรรม
การเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ใน
ระดับมาก



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนานิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเปรียบเทียบนิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ ตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ ศึกษาการพัฒนาในระดับความเข้าใจนิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถสรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลตามความมุ่งหมายของงานวิจัย และมีข้อเสนอแนะดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยตามความมุ่งหมายของงานวิจัยดังนี้

1. การเปรียบเทียบนิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

คะแนนความเข้าใจนิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า คะแนนความเข้าใจนิโมติ ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ย (9.56 ± 3.42) , ร้อยละ 15.94) ต่ำกว่าหลังเรียน (44.66 ± 8.36) , ร้อยละ 74.43) โดยผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจนิโมติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักเรียน พบว่า คะแนนความเข้าใจนิโมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคลของนักเรียน จำนวน 32 คน หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง ($<g> = 0.30 - 0.69$) จำนวน 24 คน (ร้อยละ 75) และนักเรียนมี

ความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ ($\langle g \rangle = 0.00 - 0.29$) จำนวน 8 คน (ร้อยละ 25) โดยมีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง ($\langle g \rangle = 0.34$)

3. การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ระดับความเข้าใจในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด (ร้อยละ 45.16) รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 40.63) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีความเข้าใจ (NU/NC) (ร้อยละ 10.78) ระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 3.13) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 0.31) ตามลำดับ หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีความเข้าใจ (NU/NC) (ร้อยละ 0.31) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (ร้อยละ 8.75) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (ร้อยละ 6.09) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (ร้อยละ 37.34) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 47.50) เพิ่มขึ้น โดยผลการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนหลังที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีความเข้าใจ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง แต่มีความเข้าใจในมิติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นทั้ง 7 มโนคติ

มโนคติที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจสู่ระดับที่สมบูรณ์ (CU) มากที่สุด ได้แก่ มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ (ร้อยละ 54.69) รองลงมา ได้แก่ มโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน (ร้อยละ 51.56) มโนคติที่ 3 ปฏิกริยาแสง (ร้อยละ 50.78) มโนคติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 50.00) และมโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกริยาแสง (43.75) ตามลำดับ และน้อยที่สุด ได้แก่ มโนคติที่ 4 ปฏิกริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมโนคติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (ร้อยละ 42.19) และมโนคติที่นักเรียนไม่มีความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีความเข้าใจ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) ได้แก่ มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ มโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกริยาแสง

มโนคติที่ 3 ปฏิบัติแสง มโนคติที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และมโนคติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน

เมื่อวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 32 คน โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อและทั้งหมดของแบบทดสอบ พบว่านักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ จำนวน 27 คน (ร้อยละ 84.38) และนักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ จำนวน 5 คน (ร้อยละ 15.63) จะเห็นได้ว่า นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติแต่ละข้อของมโนคติทั้ง 7 มโนคติรวมกันเท่ากับหรือเกินครึ่งหนึ่งของแบบทดสอบ (10 ข้อ) และเกิดการพัฒนาความเข้าใจมโนคติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี

4. การสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (4.37 ± 0.49) โดยผลการตรวจสอบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านเนื้อหา (4.29 ± 0.60) ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ (4.23 ± 0.53) และด้านการวัดและประเมินผล (4.07 ± 0.44) อยู่ในระดับมาก และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด (4.53 ± 0.56)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ทำให้มีโนมตีเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลและรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง และระดับความเข้าใจมีโนมตีในภาพรวมและรายข้อทั้ง 7 มีโนมตีของนักเรียนมีการพัฒนาอยู่ในระดับที่สูงขึ้น โดยมีความเข้าใจมีโนมตีในระดับคลาดเคลื่อน (AC) ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) และระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมีโนมตี (NU/NC) ลดลง แต่พัฒนาสู่ความเข้าใจมีโนมตีในระดับที่สมบูรณ์ (CU) และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) เพิ่มขึ้นตามลำดับ รวมทั้งมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ผู้วิจัยสามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมีโนมตี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีมีมีโนมตีเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และระดับความเข้าใจมีโนมตีในภาพรวมและรายข้อทั้ง 7 มีโนมตีของนักเรียนมีการพัฒนาอยู่ในระดับที่สูงขึ้น เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ช่วยให้นักเรียนได้เปลี่ยนแปลงแนวคิดหรือความเข้าใจ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ไม่ตรงกับมีโนมตีทางวิทยาศาสตร์เป็นความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยมีโนมตีที่ไม่เข้าใจหรือคลาดเคลื่อนสามารถปรับให้ถูกต้องได้ จนเกิดการแก้ไขมีโนมตีที่คลาดเคลื่อนซึ่งส่งผลต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดการยอมรับมีโนมตีทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องในระดับมีโนมตีที่ยากเพิ่มขึ้น เป็นผลให้นักเรียนมีมีโนมตีที่ถูกต้องในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เป็นเนื้อยากและนามธรรม (Hewson & Hewson, 2003; กฤตธรรม แพนลีนฟ้า และคนอื่น ๆ, 2561; พิชาชัยจันดี และ วรณจรี มังสิงห์, 2552; วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562) ด้วยยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ทำให้เกิดการรับรู้มีโนมตีใหม่กับการรับรู้มีโนมตีที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ครูต้องเข้าใจถึงมีโนมตีเดิมของนักเรียนหรือความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับแนวคิด เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ตัวอย่างเช่น การตั้งคำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนระบุมโนมตีที่มีอยู่เดิมเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น CO₂ น้ำ หรือแสงมีบทบาทอย่างไรในการทำให้พืชสามารถสร้างอาหารได้ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับมีโนมตีที่คลาดเคลื่อนที่มีอยู่ จากนั้นสอนมุ่งเน้นให้นักเรียนเห็นความไม่ตรงกันระหว่างมีโนมตีเดิมของตนเองกับความรู้ใหม่ที่ถูกต้อง เช่น การทำการทดลองหรือกิจกรรมที่แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ไม่

ตรงกับความสำเร็จที่มีอยู่เดิม ดังตัวอย่างการใช้กิจกรรมที่แสดงให้เห็นว่า แม้พืชจะได้รับแสงและน้ำ แต่ถ้าไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ก็ไม่สามารถสร้างน้ำตาลได้ เพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงความเข้าใจผิดที่มีอยู่ และนำเสนอแนวคิดใหม่ที่สามารถอธิบายได้ดีขึ้น (ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557; สิริมา มิ่งเมือง, 2560) โดยมีหลักฐานหรือเหตุผลที่ชัดเจนในการสนับสนุนแนวคิดนั้น เช่น การใช้แบบจำลองหรือภาพแสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แบบจำลองกระบวนการหรือวิถีโอเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงที่แสดงขั้นตอนการดูดกลืนแสง ปฏิริยาแสง การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ และการสร้างน้ำตาล โดยการให้ตัวอย่างที่หลากหลายและอธิบายเชื่อมโยงกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดใหม่เกี่ยวกับความรู้เดิม แยกความแตกต่างของมโนคติใหม่จากมโนคติเดิมได้ เพราะมโนคติใหม่มีเหตุผล น่าเชื่อถือ และสามารถแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่ได้ จึงทำให้นักเรียนเกิดความไม่พอใจในมโนคติเดิมและยอมรับมโนคติใหม่ จนทำให้เกิดการพัฒนาในที่สุด ตัวอย่างของมโนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงที่พบและสามารถแก้ไขด้วยการจัดการเรียนรู้ใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ที่ใช้ร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เช่น

1) **มโนคติที่คลาดเคลื่อน:** นักเรียนเข้าใจว่า “ออกซิเจนที่ปล่อยออกมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากการแยกคาร์บอนไดออกไซด์” (ตรงกันกับสิริมา กิจเกื้อกูล และ นฤมล ยุติาคม, 2547)

มโนคติที่ถูกต้อง: ออกซิเจนที่ผลิตในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากการแยกน้ำ (H_2O) และไม่ใช่จากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการที่เรียกว่า photon-induced water splitting หรือ photolysis

2) **มโนคติที่คลาดเคลื่อน:** นักเรียนเข้าใจว่า “พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้เพียงแค่ว่าในช่วงเวลากลางวันหรือเมื่อแสงแดดมีความเข้มข้นสูงเท่านั้น”

มโนคติที่ถูกต้อง: แม้ว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นได้ดีในที่ที่มีแสง แต่พืชยังคงสามารถดำเนินกระบวนการนี้ได้ในระดับที่ต่ำแม้ในช่วงแสงน้อย เพียงแต่การสังเคราะห์จะช้าลงในที่มีแสงน้อยหรือในเวลากลางคืนพืชจะไม่สามารถสังเคราะห์ได้

3) **มโนคติที่คลาดเคลื่อน:** นักเรียนเข้าใจว่า “ปฏิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนไม่จำเป็นต้องใช้แสงหรือเกิดขึ้นได้ในตอนกลางคืน” (ตรงกันกับสิริมา มิ่งเมือง, 2560)

มโนคติที่ถูกต้อง: ปฏิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จำเป็นต้องใช้แสงกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องภายในสโตรมา และ ATP และ NADPH จากปฏิริยาแสงในตอนกลางวัน รวมถึงโฟโตเรสไพเรชันที่ต้องใช้เอนไซม์รูบิสโกและ ATP

4) **มโนคติที่คลาดเคลื่อน:** นักเรียนเข้าใจว่า “พืชทุกชนิดสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงในลักษณะเดียวกัน” (ตรงกันกับอังคณา ปัทมพงศา, 2555)

มโนคติที่ถูกต้อง: พืชบางชนิด เช่น พืชที่มีการสังเคราะห์แบบ CAM (Crassulacean Acid Metabolism) หรือ C_4 จะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่แตกต่างจากพืช C_3 (พืชทั่วไป) ในด้านกลไกและเวลา ดังตัวอย่างพืชในเขตร้อนที่มีการสังเคราะห์ในเวลากลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำ

5) **มโนคติที่คลาดเคลื่อน:** นักเรียนเข้าใจว่า “อุณหภูมิสูงจะทำให้การสังเคราะห์แสงทำงานได้ดี เพราะจะเร่งให้พืชทำงานเร็วและสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้น”

มโนคติที่ถูกต้อง: หากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากทำให้โปรตีนที่เป็นเอนไซม์เสียสภาพและการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) เน้นการพัฒนาแนวทางการสอนที่ช่วยแก้ไขหรือปรับปรุงความเข้าใจที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์ของนักเรียนเกี่ยวกับมโนคติ โดยพยายามทำให้นักเรียนเปลี่ยนจากการเข้าใจในแบบเดิมไปสู่ความเข้าใจใหม่ที่ถูกต้องและมีความคงทนถาวรมากขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงมโนคติ (conceptual change) ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติที่คลาดเคลื่อนที่นำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาใช้จัดการเรียนรู้ในวิชาชีววิทยาแล้วทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้ชัดเจนและมีมโนคติที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง (พิชา ชัยจันดี และ วรณจรรย์ มั่งสิงห์, 2552; วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้, 2556) เซลล์ (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553) การสืบพันธุ์ของสัตว์ (สุนิษา คำสะอาด, 2558) การสืบพันธุ์ของพืชดอก (ปวีณา งามชัด, 2556) และในวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ (กฤตธรรม แพนลิ้นฟ้า และคนอื่น ๆ, 2561; อรรถพล พลอยมีค่า, 2562; อิศราพร เกรินทวงศ์, 2557)

รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบ (Kolb's experiential learning model) นำมาใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังไม่มีการนำมาใช้ร่วมกันในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นวงจร ทำให้เกิดการพัฒนามโนคติอย่างต่อเนื่องและแต่ละขั้นก็จะส่งเสริมการเรียนรู้ของขั้นต่อไป (Chae, 2020; Gai, 2017; Güneş, 2017; Lee, 2016; Schenck & Cruickshank, 2015; ทวีปสิริ เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา และคนอื่น ๆ, 2564; นงนุช เสือพุ่ม และคนอื่น ๆ, 2560) และมี

ลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติ สามารถนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นได้อย่างชัดเจนจนสร้างมโนคติใหม่ได้ กล่าวคือ ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม เป็นขั้นที่นักเรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกจากประสบการณ์จริง ครูวางแผนเพื่อให้นักเรียนรู้วามโนคติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ส่วนขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต เป็นขั้นที่นักเรียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกตและสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม จนนำมาสู่ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม เป็นขั้นที่นักเรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด สังเกตแล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นมโนคติของตนเอง นักเรียนเกิดกระบวนการปรับปรุงมโนคติเพื่อทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับมโนคติใหม่ได้ในที่สุด จากนั้นยังสามารถทำให้นักเรียนที่มีมโนคติใหม่แล้วนั้นสามารถนำมโนคติใหม่ไปอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง เป็นขั้นที่นักเรียนนำมโนคติใหม่ที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนเกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่และพัฒนาไปสู่ระดับมโนคติที่สูงขึ้นหรือเนื้อหาที่ยากขึ้นได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติใหม่นั้นมีประโยชน์กับนักเรียนนั่นเอง

ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีนั้นสามารถนำมาใช้ร่วมกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) เพื่อพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพในการเพิ่มพูนความเข้าใจใน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นหัวข้อที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมในวิชาชีววิทยา โดยการใช้แนวทางรูปแบบการจัดการเรียนรู้สามารถช่วยให้นักเรียนไม่เพียงแต่จำข้อมูลได้ แต่ยังสามารถเข้าใจและประยุกต์ใช้ความรู้ในชีวิตจริงได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้แบบประสบการณ์ (experiential learning) และการสำรวจและทดลองด้วยตนเอง เพื่อให้เกิดการสะท้อนความคิดเห็นสามารถช่วยให้การเปลี่ยนแปลงมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนได้ผลดีและช่วยลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่นักเรียนมีอยู่เดิม โดยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงสามารถเข้าใจเนื้อหาที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรมและใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่า และมีการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chin & Brown, 2000; Marx & Hewson, 2001; Wang & Zhang, 2016; Wong & Chan, 2019)

2. การตรวจสอบระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคลของนักเรียน จำนวน 32 คน หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า

นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 24 คน และความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำจำนวน 8 คน โดยระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{g}=0.34$) แสดงว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาความรู้และความเข้าใจในมิติในเนื้อหา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียนไปในทิศทางที่ดี แม้ว่าจะไม่ได้มีการพัฒนาที่สูงมาก แต่ก็ยังแสดงถึงความสามารถในการปรับตัวและพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหาโดยใช้การจัดการเรียนรู้ ในขณะที่นักเรียนบางส่วนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังมีข้อจำกัดในการเรียนรู้หรือการปรับตัวต่อการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ แม้ว่าจะได้รับการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบที่เน้นการเรียนรู้จากประสบการณ์ โดยการสำรวจ การทดลอง และการสะท้อนความคิดเห็นก็ตาม แต่โดยภาพรวมก็ยังเห็นได้ว่า นักเรียนมีการพัฒนามิติดิ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และมีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีพื้นฐานจากการเปลี่ยนแปลงมโนคติที่เน้นการช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่ผิดหรือไม่สมบูรณ์ไปเป็นความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ในการศึกษาเชื่อมโยงกับการกระตุ้นให้นักเรียนทบทวนมโนคติเดิม ๆ และปรับปรุงความเข้าใจด้วยกิจกรรมที่กระตุ้นการคิดอย่างลึกซึ้ง เช่น การใช้การทดลอง การสะท้อนความคิดเห็น และการเชื่อมโยงประสบการณ์จริงเข้าไปในเนื้อหา

จากการที่นักเรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าในระดับปานกลางสะท้อนว่า ยุทธศาสตร์การสอนนี้มีประสิทธิภาพในการช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรม เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง และช่วยในการเปลี่ยนแปลงมโนคติของนักเรียนบางกลุ่มให้มีความเข้าใจที่ดีขึ้น ร่วมกับการใช้รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่เน้นการให้นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรง ผ่านกิจกรรมต่าง ๆ และกระบวนการสะท้อนความคิดเห็น เพื่อนำประสบการณ์เหล่านั้นมาวิเคราะห์และเชื่อมโยงกับทฤษฎี ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้และทำให้ความเข้าใจเกิดขึ้นในลักษณะลงมือปฏิบัติหรือการเรียนรู้ที่กระตือรือร้น การที่นักเรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลางเป็นการแสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้จากประสบการณ์ช่วยสร้างความเข้าใจในเนื้อหา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ดี อย่างไรก็ตามผลการวิจัยที่แสดงว่า มีนักเรียนจำนวน 8 คน ที่พัฒนาความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น นักเรียนบางคนอาจขาดความรู้พื้นฐาน ทำให้นักเรียนอาจไม่สามารถเชื่อมโยงประสบการณ์หรือกิจกรรมที่ทำให้เข้ากับเนื้อหาทฤษฎีได้ หรืออาจมีข้อจำกัดในด้านทักษะการคิดวิเคราะห์ หรือการสะท้อนความคิดเห็นที่มีผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน และความแตกต่างในสไตล์

การเรียนรู้ของนักเรียนที่อาจทำให้กลยุทธ์บางประเภทไม่สามารถกระตุ้นการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งลักษณะของแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เป็นแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น ประกอบด้วยแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 5 ตัวเลือก และให้เหตุผลในการเลือกตัวเลือก ซึ่งนักเรียนต้องเขียนตอบให้รายละเอียดค่อนข้างมาก อีกทั้งด้วยเวลาในการทำแบบทดสอบและคำตอบต้องเป็นไปตามเกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนด ทำให้การให้เหตุผลยังไม่ครบถ้วนและบางส่วนที่ยังไม่ถูกต้อง

เมื่อพิจารณาระดับความก้าวหน้าทางการเรียนรายกลุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยของความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ที่ 0.34 บ่งชี้ว่า ความก้าวหน้าของนักเรียนในกลุ่มนี้อยู่ในระดับปานกลาง โดยรวมแล้วแม้ว่าจะมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง แต่ก็แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายนี้ สามารถปรับปรุงและพัฒนา มโนคติของนักเรียนในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ในระดับที่ค่อนข้างดี

3. การพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) มากที่สุด รองลงมาคือ ระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) ตามลำดับ และหลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง แต่มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้น โดยผลการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจมโนคติเป็นรายข้อในแต่ละมโนคติทั้ง 7 มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนหลังที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง แต่มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นทั้ง 7 มโนคติเช่นกัน จะเห็นได้ว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 45.16) มีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) หมายความว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผิด

หรือไม่ตรงตามหลักวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีนักเรียนจำนวนมาก (ร้อยละ 40.63) ที่มีความเข้าใจในระดับคลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) อาจหมายถึง การเข้าใจในบางแง่มุมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ยังไม่สมบูรณ์หรือมีความคลาดเคลื่อนในบางประเด็น ส่วนที่เหลือ (ร้อยละ 10.78) อยู่ในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีโนมตี (NU/NC) บ่งชี้ว่า นักเรียนจำนวนหนึ่งยังไม่สามารถเชื่อมโยงหรือเข้าใจโนมตี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ โดยมีเพียงจำนวนน้อยมาก (ร้อยละ 3.13) ที่มีความเข้าใจในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และสมบูรณ์ (CU) (ร้อยละ 0.31) ผลการวิเคราะห์ก่อนการจัดการเรียนรู้แสดงให้เห็นว่า นักเรียนยังขาดความเข้าใจที่ถูกต้องและสมบูรณ์ใน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและมีความเชื่อมโยงกับหลายกระบวนการทางชีววิทยา นักเรียนกลุ่มที่ศึกษานี้ 아직ยังไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้เดิมและไม่สามารถอธิบายกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่เป็นรูปธรรมได้

หลังจากการได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีโนมตี (NU/NC) ลดลงอย่างมาก โดยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.31 บ่งชี้ว่า นักเรียนสามารถเข้าใจและมีการพัฒนามโนมตีใน เรื่อง การสังเคราะห์แสง เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และมีการลดลงของระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) (จากร้อยละ 45.16 เหลือร้อยละ 8.75) และคลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) (จากร้อยละ 40.63 เหลือร้อยละ 6.09) แสดงให้เห็นว่า นักเรียนที่เคยมีโนมตีที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ใน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้รับการปรับปรุงมโนมตีผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมตีรวมกับการสำรวจ การทดลอง และการสะท้อนความคิดเห็น ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของการเรียนรู้ที่มาจากประสบการณ์ สิ่งที่น่าสนใจคือ การเพิ่มขึ้นของระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) (จากร้อยละ 3.13 เป็นร้อยละ 37.34) และสมบูรณ์ (CU) (จากร้อยละ 0.31 เป็นร้อยละ 47.50) เป็นการยืนยันว่ากระบวนการเรียนรู้ที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง การตั้งคำถาม และการสะท้อนความคิดเห็น ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้นในการอธิบายกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสง

การที่ความเข้าใจมโนมตีในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีโนมตี (NU/NC) คลาดเคลื่อน (AC) และคลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลงอย่างชัดเจนหลังการจัดการเรียนรู้ เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความสำเร็จของยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่เน้นกระบวนการสะท้อนความคิดเห็นและการเชื่อมโยงประสบการณ์จริงกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมตีของนักเรียนไปในทิศทางที่ถูกต้องและ

สมบุรณ์มากขึ้น และการที่นักเรียนจำนวนมากมีความเข้าใจในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบุรณ์ (PU) และสมบุรณ์ (CU) แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ที่มีลักษณะกระตุ้นการคิดอย่างมี วิจารณ์ญาณและการให้ประสบการณ์ตรง สามารถช่วยเสริมสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและ สมบุรณ์ในเรื่องที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมได้ โดยกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เน้นการทบทวนประสบการณ์ การทดลอง และการสะท้อนความคิดเห็น ซึ่งช่วยให้นักเรียนมีโอกาส ผึกคิด และทำความเข้าใจเนื้อหาผ่านประสบการณ์ตรง แทนที่จะเรียนรู้แค่จากทฤษฎีหรือจำ เนื้อหาเพียงอย่างเดียว ทำให้ช่วยสร้างความเข้าใจที่มีความหมายและยั่งยืน และกระตุ้นการใช้ ทักษะในการคิดและแก้ปัญหาของนักเรียนในชีวิตจริง สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การ พัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ เปลี่ยนแปลงมโนคติ (conceptual change approach) ด้วยการเรียนรู้ที่ให้ประสบการณ์ตรงและ การสะท้อนความคิดเห็น ช่วยให้ความเข้าใจของนักเรียนในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง มี ความถูกต้องและพัฒนาสู่ระดับที่สมบุรณ์ขึ้น และเปลี่ยนแปลงความเข้าใจจากความไม่รู้หรือ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนลดลงหลังจากการจัดการเรียนรู้ที่มีประสบการณ์จริง (Bennet & Holman, 2002; Liu & Tsai, 2008; Nuthall, 2004; Zhao & Goh, 2013)

ทั้งนี้มโนคติที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจสู่ระดับที่สมบุรณ์ (CU) มากที่สุด ได้แก่ มโนคติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ (ร้อยละ 54.69) รองลงมาได้แก่ มโนคติที่ 5 โฟโตเรส- ไพเรชัน (ร้อยละ 51.56) มโนคติที่ 3 ปฏิิกิริยาแสง (ร้อยละ 50.78) มโนคติที่ 6 การเพิ่มความ เข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 50.00) และมโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีใน ปฏิิกิริยาแสง (43.75) ตามลำดับ และน้อยที่สุดได้แก่ มโนคติที่ 4 ปฏิิกิริยาการตรึงแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์และมโนคติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (ร้อยละ 42.19) แสดงให้เห็นว่า มโนคติที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในระดับที่สมบุรณ์สูงสุด คือ โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ บ่งบอกว่าการเรียนรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของคลอโรพลาสต์เป็นเรื่องที่ นักเรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า เนื่องจากโครงสร้างของคลอโรพลาสต์มีลักษณะเป็น ส่วนประกอบที่ชัดเจนและเป็นเรื่องที่สามารถอธิบายได้ง่าย โดยเชื่อมโยงกับภาพหรือแบบจำลองที่ มีอยู่ในห้องเรียนหรือในสื่อการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ เช่น ภาพวาดหรือแบบจำลอง 3 มิติ และเป็น เนื้อหาที่นักเรียนเรียนผ่านมาแล้ว ตามด้วยมโนคติที่เกี่ยวข้องกับโฟโตเรสไพเรชันและปฏิิกิริยาแสง โดยมโนคติที่มีการพัฒนาความเข้าใจในระดับสูงสุดส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่เห็นได้ ชัดเจนในการสังเคราะห์ด้วยแสง สะท้อนให้เห็นว่าเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและกระบวนการ ที่เห็นได้ชัดเจนในระดับเซลล์หรือการเกิดปฏิิกิริยาทางเคมี เช่น โฟโตเรสไพเรชันและปฏิิกิริยาแสง

เป็นมโนคติที่นักเรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า โดยสามารถอธิบายได้ผ่านการสังเกตการณ์และการทดลองทางปฏิบัติ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่เน้นการสร้างความเข้าใจเชิงลึกผ่านการมีส่วนร่วมของนักเรียน ส่วนมโนคติเกี่ยวกับปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นมโนคติที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในระดับที่สมบูรณ์น้อยที่สุด แสดงให้เห็นถึงความยากในการเข้าใจมโนคติที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ลึกซึ้งและซับซ้อน โดยการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงหรือโฟโตเรสไพเรชัน อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับจำนวนโมเลกุลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ และตัวแปรหลายตัวในปฏิกิริยา (Gerdol et al., 2008; Tekkaya et al., 2001; ปิตุพงษ์ ท่าค้อ, 2557; อังคณา ปัทมพงศา, 2555)

ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในมโนคติเหล่านี้อาจต้องใช้วิธีการที่หลากหลาย และให้การอธิบายที่มีรายละเอียดมากขึ้นหรือการเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตจริง ซึ่งอาจเป็นความท้าทายสำหรับครูผู้สอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเนื้อหาเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อน การอธิบายทฤษฎีเหล่านี้อาจทำให้เกิดความสับสนแก่นักเรียน จึงต้องมีการใช้เทคนิคการสอนที่หลากหลายและเน้นการทำให้เนื้อหาน่าสนใจ เช่น การใช้สื่อการเรียนการสอนที่เป็นภาพเคลื่อนไหว (animation) หรือการใช้เครื่องมือสื่อการจัดการเรียนรู้ทางเทคโนโลยีที่สามารถแสดงให้เห็นการทำงานของปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับโมเลกุล (Harrison & Treagust, 2000) สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า กระบวนการเปลี่ยนแปลงมโนคติในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะการสอนเกี่ยวกับการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นกระบวนการที่มักจะถูกเข้าใจคลาดเคลื่อนในกลุ่มนักเรียน ซึ่งให้เห็นว่าการเข้าใจในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมักจะถูกขัดขวางจากมโนคติที่ผิดหรือความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของนักเรียนเกี่ยวกับการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่นักเรียนมักจะเข้าใจผิดเกี่ยวกับบทบาทของ CO_2 ดังนั้นการสอนที่เน้นการทำให้ผู้เรียนเห็นภาพของการรวมตัวของ CO_2 เข้ากับโมเลกุลอื่น ๆ และนำไปสู่การผลิตสารประกอบที่เป็นแหล่งพลังงาน เช่น กลูโคส จะช่วยทำให้มโนคติที่ผิดของนักเรียนเปลี่ยนแปลงไป และยังคงกล่าวถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และแสง ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่นักเรียนควรจะเข้าใจอย่าง

ถูกต้อง โดยการให้การทดลองหรือสถานการณ์ที่ช่วยแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงตามปัจจัยต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้กับผลลัพธ์ของการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงพบว่า การให้การเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริงและการเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจจากประสบการณ์ โดยเฉพาะการทำกิจกรรมที่นักเรียนสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติจริง สามารถช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงมโนคติจากความเข้าใจที่ผิดไปสู่ความเข้าใจที่ถูกต้องในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถเปลี่ยนแปลงมโนคติที่คลาดเคลื่อนในระยะยาว (Eisenkraft, 2003; Mohan & Atwood, 2008)

อีกจุดที่น่าสนใจคือ การไม่มีมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) (ร้อยละ 0.00) หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บในมโนคติ เรื่อง โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง ปฏิกิริยาแสง ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และโฟโตเรสไพเรชัน แสดงให้เห็นว่า นักเรียนกลุ่มที่ศึกษาในครั้งนี้มีการพัฒนาความเข้าใจพื้นฐานของมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ในระดับหนึ่งแล้ว และนักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้สถานการณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากทั้งการประเมินระหว่างการทำกิจกรรม และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบทดสอบวัดมโนคติและการสัมภาษณ์นักเรียนสะท้อนได้ถึงคุณภาพของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้อย่างชัดเจน

เมื่อวิเคราะห์การพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 32 คน โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อและทั้งชุดของแบบทดสอบ พบว่า นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ จำนวน 27 คน (ร้อยละ 84.38) และนักเรียนไม่มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ จำนวน 5 คน (ร้อยละ 15.63) จะเห็นได้ว่า นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 มีการพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติแต่ละข้อของมโนคติทั้ง 7 มโนติรวมกันเท่ากับหรือเกินครึ่งหนึ่งของแบบทดสอบ (10 ข้อ) และเกิดการพัฒนาความเข้าใจมโนคติในภาพรวม เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ แสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติในแต่ละข้อ แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติกับกระบวนการเรียนรู้ในเชิงประสบการณ์ โดยการสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience) แล้วไตร่ตรอง

สะท้อนประสบการณ์จากกิจกรรมและอภิปราย (reflective observation and discussion) จนนำมาสู่การสรุปเป็นหลักนามธรรม (abstract conceptualization) และการนำไปทดลองปฏิบัติจริงหรือประยุกต์ใช้ความรู้ (active experimentation or application) ที่มีส่วนช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ในระดับที่ถูกต้องมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการช่วยให้ความเข้าใจใน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียน ซึ่งเป็นมโนคติที่ยากและซับซ้อนพัฒนาไปในทิศทางที่ถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น เนื่องจากการใช้ยุทธศาสตร์การสอนที่มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงมโนคติของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลบช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้จากการสะท้อนความคิดเห็นและการเชื่อมโยงกับประสบการณ์จริง เป็นวิธีที่ช่วยทำให้ความเข้าใจของนักเรียนมีความลึกซึ้งและถาวรยิ่งขึ้น ทั้งนี้การสะท้อนความคิดเห็นช่วยให้นักเรียนมีโอกาสปรับปรุงมโนคติหรือความเข้าใจที่ผิดพลาดและเชื่อมโยงกับความรู้เดิมอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การใช้กลยุทธ์การสอนเพื่อปรับเปลี่ยนมโนคติของนักเรียนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้วิธีการสอนที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของนักเรียน การใช้คำถามที่กระตุ้นให้คิดหรือการทดลองจริง และการสะท้อนความคิดเห็น ซึ่งได้ผลดีในการช่วยให้นักเรียนสามารถปรับความเข้าใจในเรื่องที่ยากและสามารถจัดการกับมโนคติที่ผิดพลาดได้ดีขึ้น (Baser, 2013; Lee & Jang, 2008; Schneider & Guberman, 2012)

การที่นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 สามารถพัฒนาระดับความเข้าใจมโนคติแต่ละข้อมโนคติทั้ง 7 ข้อรวมกันจนถึงระดับที่เท่ากับหรือเกินครึ่งหนึ่ง (10 ข้อ) บ่งชี้ถึงการที่นักเรียนมีการพัฒนามโนคติเดิมเป็นมโนคติที่ถูกต้อง โดยการเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนรู้กับประสบการณ์ตรง รวมทั้งการไตร่ตรองและสะท้อนความคิดเห็น ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย และนักเรียนไม่เพียงแต่สามารถเข้าใจแนวคิดใน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ยังสามารถเชื่อมโยงและประยุกต์ใช้ในบริบทต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น ส่วนนักเรียนจำนวนร้อยละ 15.63 ที่ไม่มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ แสดงให้เห็นว่า แม้กระบวนการเรียนรู้ที่ใช้จะมีประสิทธิภาพมาก แต่ก็ยังมีนักเรียนบางกลุ่มที่อาจจะไม่สามารถพัฒนาความเข้าใจได้ในระดับที่คาดหวัง สาเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความยากง่ายของเนื้อหาวิชา การขาดการมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ หรือข้อจำกัดในการเรียนรู้ของนักเรียนบางคนที่ต้องการการสนับสนุนเพิ่มเติม ดังนั้นควรมีการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายและสามารถรองรับความแตกต่างของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้กลุ่มย่อยเพื่อการสอนแบบเจาะจง การเพิ่มกิจกรรมที่ช่วยกระตุ้นการคิดและการทดลองมากขึ้น รวมทั้งการตรวจสอบและติดตามความเข้าใจของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง และ

การกำหนดเกณฑ์การพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเพื่อให้ทราบจำนวนนักเรียนที่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่กำหนดไว้ว่า นักเรียนต้องมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อขึ้นไป 2 ระดับ คือ จากคะแนน 0 คะแนน (NU หรือ AC) ไปเป็น 2 คะแนน (PU) หรือ 3 คะแนน (CU) และจากคะแนน 1 คะแนน (PS) ไปเป็น 3 คะแนน (CU) จึงจะมีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติในข้อนั้น และถ้าหลังเรียนนักเรียนมีการพัฒนามโนมติเป็นรายข้อรวมกันเท่ากับหรือเกิน 10 ข้อ (จากทั้งหมด 20 ข้อ) จึงจะถือว่านักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง แต่นักเรียนกลุ่มที่ไม่มีการพัฒนามโนมติพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติเป็นรายข้อขึ้นไปเพียง 1 ระดับ หรือคงระดับความเข้าใจในมิติเดิม หรือระดับความเข้าใจในมิติลดลง จึงทำให้นักเรียนมีการพัฒนามโนมติเป็นรายข้อรวมกันไม่ถึง 10 ข้อ จึงเป็นผลให้สรุปได้ว่า นักเรียนไม่มีการพัฒนาระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

4. การสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังเรียน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้านเนื้อหา ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มุ่งเน้นให้ครูสามารถสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับนักเรียนทุกคน โดยการให้ความสำคัญกับการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียน การใช้วิธีการที่หลากหลายในการสอน รวมถึงการให้โอกาสนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้แบบเชิงรุก (active learning) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่เน้นการเรียนรู้จากประสบการณ์จริง ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้กับประสบการณ์ส่วนตัว ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยการนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมาใช้ร่วมกันในบริบทของการสอน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถอธิบายผลการวิจัยได้ว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ เนื่องจากได้รับประสบการณ์เรียนรู้ที่หลากหลายและได้มีส่วนร่วมในการทดลองและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา

เมื่อพิจารณาความพึงพอใจในแต่ละด้าน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจในด้านเนื้อหา ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลในระดับมาก แสดงถึงการจัดการเรียนรู้ที่มีคุณภาพในแต่ละส่วน ได้แก่ ด้านเนื้อหา อาจเป็นผลจากการที่เนื้อหานั้นถูกจัดเตรียมอย่างมีลำดับและเข้าใจง่าย โดยการนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการ

เรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บเข้ามาช่วยในการเชื่อมโยงเนื้อหากับประสบการณ์จริงของนักเรียนทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหามากขึ้นและพัฒนาจินตนาการได้ ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ อาจเป็นผลจากการใช้สื่อการจัดการเรียนรู้ที่มีความหลากหลาย เช่น สื่อดิจิทัล สื่อภาพหรือวิดีโอ ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้ในการทดลองและปฏิบัติจริงได้ และด้านการวัดและประเมินผล อาจเป็นผลมาจากการประเมินผลที่มีความหลากหลายและเป็นธรรม เช่น การใช้การประเมินผลแบบระหว่างเรียน (formative assessment) ทั้งด้านความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ หรือการให้โอกาสนักเรียนในการประเมินผลตนเอง ทำให้นักเรียนสามารถรับฟังข้อเสนอแนะและพัฒนาการเรียนรู้ได้ ส่วนด้านกิจกรรมการเรียนรู้ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ตรงกับหลักการของรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่มุ่งเน้นการเรียนรู้จากประสบการณ์จริง (experiential learning) การที่นักเรียนได้มีโอกาสลงมือ (hands-on) หรือเรียนรู้ในลักษณะทดลองที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง อาจช่วยให้นักเรียนเกิดความสนุกสนานและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากขึ้น ดังนั้นกิจกรรมการเรียนรู้ที่กระตุ้นความสนใจและให้โอกาสนักเรียนในการทดลองหรือสำรวจด้วยตนเองจึงได้รับการตอบรับที่ดี

จากการตรวจสอบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมของนักเรียนในด้านต่าง ๆ พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถตอบสนองความต้องการและลักษณะการเรียนรู้ของนักเรียนได้ดี โดยการผสมผสานระหว่างยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บทำให้เกิดการจัดการเรียนรู้ที่มีความหลากหลาย และสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียน และพัฒนาจินตนาการ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้จากประสบการณ์ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมและการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในกลุ่มนักเรียน โดยการใช้ยุทธศาสตร์การสอนที่มุ่งเน้นการเชื่อมโยงเนื้อหากับประสบการณ์จริงช่วยเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาวิชา (Boud, Keogh, & Walker, 2013; Shulman, 2005) และผลการวิจัยที่แสดงถึงความพึงพอใจในระดับมากทั้งในด้านเนื้อหา สื่อการจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล รวมถึงกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า การใช้ยุทธศาสตร์การสอนที่เน้นการมีส่วนร่วมหรือเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (student-oriented) และการเรียนรู้จากประสบการณ์ช่วยเพิ่มความพึงพอใจของนักเรียนได้ (Smith & Johnson, 2017; Wong & Chan, 2019)

จากการอภิปรายผลการวิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของ ฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนคติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระดับความก้าวหน้าทางการเรียนหลังเรียนเป็นรายบุคคลอยู่ในระดับปานกลางจำนวนร้อยละ 75 และระดับต่ำจำนวนร้อยละ 25 และรายกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง ($<g> = 0.34$) เมื่อพิจารณา ระดับความเข้าใจมโนคติหลังเรียนพบว่า ความเข้าใจมโนคติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีมโนคติ (NU/NC) ระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) และระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ลดลง โดยมีระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และระดับที่สมบูรณ์ (CU) เพิ่มขึ้นทั้ง 7 มโนคติ และนักเรียนจำนวนร้อยละ 84.38 มีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลอยู่ในระดับมาก และด้านกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด เนื่องจากยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ช่วยให้นักเรียนได้เปลี่ยนแปลงแนวคิดหรือความเข้าใจ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ไม่ตรงกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์เป็นความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยมีมโนคติที่ไม่เข้าใจหรือคลาดเคลื่อนสามารถปรับให้ถูกต้องและเกิดการแก้ไขมโนคติที่คลาดเคลื่อน ทำให้เกิดการยอมรับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องในระดับมโนคติที่ยากเพิ่มขึ้น เป็นผลให้นักเรียนมีมโนคติที่ถูกต้องในเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ทำให้เกิดการรับรู้มโนคติใหม่กับการรับรู้มโนคติที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน แยกความแตกต่างของมโนคติใหม่จากมโนคติเดิมได้ เพราะมโนคติใหม่มีเหตุผล น่าเชื่อถือ และสามารถแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่ได้ จึงทำให้นักเรียนเกิดความไม่พอใจในมโนคติเดิมและยอมรับมโนคติใหม่ จนทำให้เกิดการพัฒนามโนคติในที่สุด ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บที่มีลักษณะสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติ ซึ่งเน้นการช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงความเข้าใจที่ผิดหรือไม่สมบูรณ์ไปเป็นความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ในการศึกษาเชื่อมโยงกับการกระตุ้นให้นักเรียนทบทวนมโนคติเดิม ๆ และปรับปรุงความเข้าใจด้วยกิจกรรมที่กระตุ้นการคิดอย่างลึกซึ้ง สามารถนำยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) มาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นทั้ง 4 ขั้นตอนได้อย่างชัดเจนจนสร้างมโนคติใหม่ได้ ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม ให้นักเรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกจากประสบการณ์จริง ทำให้นักเรียนรู้ว่ามีมโนคติเดิมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ส่วนขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต ให้นักเรียนคิดไตร่ตรอง

ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกตและสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม จนนำมาสู่ ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม ให้นักเรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด สังเกตแล้วคิด ไตร่ตรองจนสร้างเป็นมโนคติของตนเอง จนนักเรียนเกิดกระบวนการปรับปรุงมโนคติเพื่อให้ สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับ มโนคติใหม่ได้ในที่สุด จากนั้นยังสามารถทำให้นักเรียนที่มีมโนคติใหม่แล้วนั้นสามารถนำมโนคติ ใหม่เพื่อไปอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง ที่ให้นักเรียนนำมโนคติ ใหม่ที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนเกิดการ หมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่และพัฒนาไปสู่ระดับมโนคติที่สูงขึ้นหรือเนื้อหาที่ยากขึ้นได้ ส่งผล ให้เห็นว่ามโนคติใหม่นั้นมีประโยชน์กับนักเรียนนั่นเอง

จากเหตุผลดังกล่าวทั้งหมดข้างต้นจึงทำให้นักเรียนเกิดการพัฒนามโนคติ เรื่อง การ สังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลิปได้ โดยกระบวนการนี้จะช่วยปรับมโนคติที่ ผิดหรือไม่สมบูรณ์ให้ถูกต้องขึ้น นักเรียนสามารถเข้าใจและยอมรับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่ ถูกต้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับ รูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลิปสามารถพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้นั้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนคติหลังเรียนสูงกว่าก่อน เรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และระดับความเข้าใจมโนคติในภาพรวมและรายข้อทั้ง 7 มโนคติของนักเรียนมีการพัฒนาอยู่ในระดับที่สูงขึ้น แต่ยังมีบางมโนคติที่มีการพัฒนาระดับ ความเข้าใจมโนคติในระดับที่สมบูรณ์ (CU) น้อยที่สุด ควรได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติม เช่น การจัด กิจกรรมที่ช่วยปรับปรุงทักษะการคิดหรือการอธิบายเชิงลึกเกี่ยวกับเนื้อหา และอาจใช้กิจกรรมที่ เน้นการปฏิบัติจริงมากขึ้น หรือการนำเทคนิคการสอนที่หลากหลายมาใช้เพื่อให้เกิดการเข้าใจ อย่างลึกซึ้ง และควรมีการพิจารณาความหลากหลายของนักเรียนในการออกแบบกิจกรรมการ เรียนรู้ เพื่อที่จะทำให้ทุกคนสามารถมีประสบการณ์การเรียนรู้ที่เหมาะสมกับระดับความเข้าใจของ ตัวเอง โดยผู้วิจัยมีข้อพึงระวังในการนำผลการวิจัยไปใช้ ได้แก่

1. ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถทำให้นักเรียนพัฒนามโนมติได้จริง ดังนั้นครูผู้สอนที่ต้องการปรับเปลี่ยนมโนมติของนักเรียนควรคำนึงถึงเงื่อนไขในการเปลี่ยนแปลงมโนมติ 3 เงื่อนไขและยุทธศาสตร์การสอนการสอนของฮิวสันและฮิวสัน 4 ยุทธศาสตร์ จึงจะทำให้ นักเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติของนักเรียนในที่สุด ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจมโนมติใหม่ที่ถูกต้องโดยการทบทวนและแก้ไขความเข้าใจผิดที่มีอยู่แล้ว โดยการกระตุ้นให้ตั้งคำถามและสะท้อนความคิดเพื่อให้เกิดการตระหนักรู้ถึงความผิดพลาดในมโนมติเดิม ทั้งนี้เหมาะสำหรับการเรียนรู้เป็นกลุ่ม เนื่องจากสามารถกระตุ้นการอภิปรายและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักเรียน ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้จากกันและกันและปรับเปลี่ยนมโนมติที่คลาดเคลื่อนร่วมกันได้ และนักเรียนควรมีความรู้พื้นฐานเรื่องที่เกี่ยวข้องมาก่อน หากนักเรียนยังไม่มีพื้นฐานความรู้หรือความเข้าใจในระดับพื้นฐานที่ดีอาจทำให้การนำยุทธศาสตร์นี้มาใช้ยากและไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เพราะนักเรียนอาจไม่สามารถเข้าใจหรือวิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม

2. การใช้รูปแบบจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บเป็นการทำให้กระบวนการเรียนรู้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการสะท้อนความคิดของนักเรียนผ่านประสบการณ์จริง เห็นเป็นรูปธรรม และการเชื่อมโยงกับแนวคิดหรือทฤษฎีที่เรียนรู้ในภายหลัง จนทำให้นักเรียนพัฒนามโนมติในเนื้อหายากหรือซับซ้อนได้ดี ดังนั้นครูต้องให้นักเรียนสามารถผ่านกระบวนการเรียนรู้ทั้ง 4 ขั้นตอนได้อย่างเต็มที่ ซึ่งรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้เวลามากและเป็นการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ครูต้องคอยกระตุ้นติดตามและให้คำแนะนำปรึกษาแก่นักเรียนอย่างทั่วถึงและต่อเนื่อง เพื่อให้เข้าถึงนักเรียนที่ยังไม่พร้อมหรือเข้าใจ ตั้งคำถามให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์และสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ และควรให้เวลานักเรียนในการทำกิจกรรมและนำเสนอผลการทำกิจกรรม

3. การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้หรือข้อประเด็นในการจัดการเรียนรู้ควรเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน พร้อมยกตัวอย่างหรือเชื่อมโยงกับบริบทในชีวิตประจำวัน จะทำให้นักเรียนเรียนรู้ได้ดีจากประสบการณ์ โดยดึงมโนมติเดิมที่มีมาสร้างเป็นมโนมติใหม่ที่ถูกต้อง และสามารถนำสิ่งที่เรียนรู้ไปใช้ได้จริงมากขึ้น นักเรียนจึงจะเกิดการยอมรับมโนมติใหม่และเกิดการเปลี่ยนแปลงมโนมติ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมป์มีผลดีในการพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียน ดังนั้นการศึกษาต่อไปอาจจะพิจารณาการใช้กลยุทธ์การเรียนรู้เหล่านี้ในหัวข้อชีววิทยาอื่น ๆ เพื่อดูผลกระทบต่อการพัฒนาความเข้าใจในหัวข้อที่มีความซับซ้อน เช่น การหายใจระดับเซลล์ พันธุศาสตร์หรืออณูชีววิทยา นอกจากนี้ควรมีการศึกษาในระยะยาวเพื่อประเมินความคงทนของการเรียนรู้ (learning retention) ว่าความเข้าใจในมิติที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ได้หรือไม่ โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ได้แก่

1. ศึกษาเปรียบเทียบผลการจัดการเรียนรู้ระหว่างการใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันกับฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้หรือวิธีการสอนอื่น ๆ เพื่อหารูปแบบการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเนื้อหาอื่น ๆ

2. สำรวจความคิดเห็นของนักเรียนและครูเพิ่มเติม โดยเก็บข้อมูลความคิดเห็นและประสบการณ์จากนักเรียน และครูเกี่ยวกับการใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) และรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมป์ เพื่อปรับปรุงแนวทางการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ

3. ศึกษาผลจากการใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัมป์ในการพัฒนาทักษะเฉพาะด้าน เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงสร้างสรรค์ การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ การทำงานเป็นทีม หรือการสื่อสาร

แม้ผลการวิจัยจะพบว่า ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก แต่ก็อาจมีข้อจำกัด เช่น ขนาดกลุ่มที่ศึกษาที่จำกัดหรือการศึกษาในบางโรงเรียนที่อาจไม่ได้สะท้อนผลการเรียนรู้ในกลุ่มนักเรียนที่หลากหลายหรือในบริบทที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิจัยในอนาคตอาจจะต้องขยายขอบเขตและใช้กลุ่มที่ศึกษาหรือกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายมากขึ้น

บรรณานุกรม

- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstanding of english graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105-120.
- Abraham, M. R., Williamson, V. A., & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 147-165.
- Adadan, E., & Savasci, F. (2012). An analysis of 16-17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544.
- Akçay, S. (2017). Prospective elementary science teachers' understanding of photosynthesis and cellular respiration in the context of multiple biological levels as nested systems. *Journal of Biology Education*, 51(1), 52-65.
- Al-Rubayea, A. M. (1996). *An Analysis of Saudi Arabian High School Students' Misconceptions About Physics Concepts*. (Unpublished doctoral dissertation). Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Aydın, Ö. (2007). *Assessing tenth grade students' difficulties about kinematics graphs by a three-tier test*. (Unpublished master thesis). Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Baser, M. (2013). The effect of active learning strategies on students' conceptual understanding in science education. *International Journal of Science Education*, 35(8), 1363-1381.
- Bennet, J., & Holman, J. (2002). The impact of experiential learning on science education: A study of photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 24(9), 1045-1061.
- Boud, D., Keogh, R., & Walker, D. (2013). *Reflection: Turning experience into learning*: Routledge.

- Brancaleoni, L., Curtis, O. D., Hohenstein, U. T., & Turrini, M. C. (2008). *Photosynthesis and plant respiration*. Biology and Evolution Department: University of Ferrara, Italy.
- Brickhouse, N. W., Zoubieda, R. D., Letts, W. J., & Shipman, H. L. (2000). Diversity of students' views about evidence, theory, and the interface between science and religion in an astronomy course. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 340-362.
- Bruning, R., Schraw, G., & Ronning, R. (1999). *Cognitive psychology and instruction* (3rd). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2010). Do students know what they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. *Research in Science Education*, 40, 313-337.
- Chae, S. (2020). Application of Experiential Learning Theory to Medical Education. *Korean Medical Education Review*, 22(2), 93-98.
- Chin, C., & Brown, D. (2000). Learning in science: A framework for teaching science through inquiry-based methods. *Science Education*, 84(1), 1-14.
- Cho, H. H. J. B. K., & Nordland, F. H. (1985). An Investigation of High School Biology Textbook as Sources of Misconceptions and Difficulties in Genetics and Some Suggestions for Teaching Genetics. *Science Education*, 69(5), 707-719.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Cullinane, A., & Liston, M. (2011). Two-tier Multiple Choice Questions (MCQs)-How Effective are They: A Pre-service Teachers Perspective. *IOSTE-NW Europe*, 1-12.
- Eisenkraft, A. (2003). Exploring the Role of Conceptual Change in Science Education: A Study on the Photosynthesis Concept. *Journal of Biological Education* 37(4), 181-186
- Eryilmaz, A. (2010). Development and application of three-tier heat and temperature test: Sample of bachelor and graduate students. *Eurasian Journal of Educational Research*, 10(40), 53-76.

- Gai, T. (2017). Applying Experiential Learning Kolb's Model into Designing "Experiential Learning Cycle" in Teaching Biology in General School. *VNU Journal of Science: Education Research*, 33.
- Gerdol, R., Bragazza, L., & Brancaloni, L. (2008). Heatwave 2003: high summer temperature, rather than experimental fertilization, affects vegetation and CO₂ exchange in an alpine bog. *New Phytologist*, 179(1), 142-154.
- Glover, A. (2012). *The 21st Century: The Age of Biology*. Paris, France: European Commission.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 Student's Misconceptions Relation to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 611-628.
- Güneş, M. H. (2017). An Experimental Study About The Application Of Kolb's Learning Cycle On Biology Lesson¹. *Kastamonu Education Journal*, 25(5), 1835-1850.
- Gurel, D. K. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5), 989-1008.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional method: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics sources. *American Journal of Physics*, 61(1), 64-74.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). The Initial Knowledge State of College Physics Students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1055.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Conceptual change in science through instructional technology: An application of the processes of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 22(4), 1-23.
- Hesse. (1989). *Sensors: a comprehensive survey*. New York: VCH.
- Hewson, M. G., & Hewson, P. W. (2003). Effect of instruction using students' prior knowledge and Conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(8), 35-43.

- Hewson, P. W. (1992). *Conceptual change in science teaching and teacher education*. National Center for Educational Research. Madrid: Spain.
- Honey, P., & Mumford, A. (1992). *The manual of learning styles* (2nd). Maidenhead, K: Peter Honey and Alan Mumford.
- Jayanti, P. (2020). Comparative Study: Misconceptions On Photosynthesis And Respiration Concepts From Past To The Present. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 9(1), 1750-1755.
- Jedaman, P., Buaraphan, K., Yuenyong, C., Suksup, C., & Kraisiwattana, B. (2018, January 5). Development strategies for science learning management to transition in the 21st century of Thailand 4.0. *AIP Conference Proceedings* 1923(1), 1-5.
- Johansson, B., Marton, F., & Svenson, L. (1985). *An approach to describing learning as change between qualitatively different conceptions* in L.H.T. West and A.L. Pines (eds) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. New York: Academic Press.
- Kaltakçı, D. (2012). *Development and application of a four-tier test to assess pre-service physics teachers' misconceptions about geometrical optics*. (Unpublished PhD Thesis). Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Karakaya, F., Yilmaz, M., & Aka, E. I. (2021). Examination of Pre-Service Science Teachers' Conceptual Perceptions and Misconceptions about Photosynthesis. *Pedagogical Research*, 6(4), em0104.
- Keleüa, E., & Kefelib, P. (2010). Determination of student misconceptions in "photosynthesis and respiration" unit and correcting them with the help of cai material. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2, 3111-3118.
- Kijkuakul, S. (2006). *Case Studies of teaching and learning about photosynthesis in Thailand: an Innovative Approach*. (Doctoral dissertation (Science Education)). Kasetsart University, Bangkok.
- Kırılmazkaya, G., & Kırbağ Zengin, F. (2016). Determination of photosynthesis misconceptions' through Vee diagrams and preservice teachers' views towards these tool. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1537-1563.

- Klopfer, L. E. (1971). *Evaluation of Learning in Sciences: An Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliff, New Jersey Prentice-Hall.
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. New Jersey: FT press.
- Lee, C. J. (2016). The effect of mathematical education for early years using Kolb's experiential learning theory on the pre-service early childhood teachers' mathematical belief, knowledge and attitude., 11(4), 35-58.
- Lee, Y. J., & Jang, S. (2008). The effect of conceptual change teaching strategies on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(8), 873-891.
- Lim, H. L., & Poo, Y. P. (2021). Diagnostic Test to Assess Misconceptions on Photosynthesis and Plant Respiration: Is It Valid and Reliable? *Indonesian Journal of Science Education*, 10(2), 241-252.
- Lin, C. Y., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1529-1544.
- Liu, X., & Tsai, C. C. (2008). The development of students' understanding of photosynthesis through conceptual change approach. *Research in Science Education*, 38(5), 573-590.
- Marek, E. A., Eubanks, C., & Gallaher, T. H. (1990). Teachers' understanding and the use of the learning cycle. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 821-834.
- Marx, R. W., & Hewson, P. W. (2001). Teaching science in a way that helps students overcome misconceptions: A case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 144-155.
- McCarthy, M. (2016). Experiential Learning Theory: From Theory To Practice. *Journal of Business & Economics Research*, 14(3), 91-100.

- Mohan, L., & Atwood, R. (2008). Using instructional strategies for the development of conceptual understanding in biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(9), 1025-1051.
- National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. (1979). *The Belmont report: Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research*. U.S. Department of Health and Human Services.
- NRC. (1997). *Science teaching reconsidered: A handbook*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nuthall, G. (2004). The development of understanding in science: Cognitive and affective aspects. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1249-1267.
- Oliver, M., & Troemel, V. (2022). Self-Explaining Photosynthesis to Achieve Conceptual Change: An Analysis of Explanation Content. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(7), 410-448.
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67(4), 489-508.
- Peşman, H., & Eryılmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, 103(3), 208-222.
- Piaget, J. (1971). *The theory of stages in cognitive development*. In D. R. Green, M. P. Ford, & G. B. Flamer, *Measurement and Piaget*: McGraw-Hill.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Reviews of Educational Research*, 63(2), 169-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

- Rollnick, M., & Mahooana, P. P. (1999). A quick and effective way of diagnosing student difficulties: two tier from simple multiple-choice questions. *South African Journal of Chemistry*, 52(4), 161-164.
- Sadler, P. M. (1998). Psychometric models of student conceptions in science: reconciling qualitative studies and distractor - driven assessment instruments. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 265-296.
- Schenck, J., & Cruickshank, J. (2015). Evolving Kolb: Experiential Education in the Age of Neuroscience. *Journal of Experiential Education*, 38(1), 73-95.
- Schneider, J., & Guberman, S. (2012). Investigating the role of inquiry-based learning and conceptual change in science education. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 29-48.
- Shulman, L. S. (2005). Signature pedagogies in the professions. *Daedalus*, 134(3), 52-59.
- Simpson, W. D., & Marek, E. A. (1988). Understanding and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 361-374.
- Smith, E. A., & Johnson, M. L. (2017). The impact of student-centered teaching strategies on student satisfaction in science education. *Journal of Educational Psychology*, 109(3), 465-476.
- Susanti, R. (2018). Misconception of biology education student of teacher training and education of Sriwijaya University to the concept of photosynthesis and respiration. *Journal of Physics: conference series*, 1022(1), 012056.
- Svandova, K. (2014). Secondary School Students' Misconceptions about Photosynthesis and Plant Respiration: Preliminary Results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(1), 59-67.
- Tekkaya, C., Ozkan, O., & Sungur, S. (2001). Biology Concepts Perceived as Difficult by Turkish High School Students. *Journal of Hacettepe University Faculty of Education*, 21, 145-150.

- Tongchai, A., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Arayathanitkul, K., & Soankwan, C. (2009). Developing, evaluating and demonstrating the use of a conceptual survey in mechanical waves. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2437-2457.
- Treagust, D., & Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297-328.
- Treagust, D. E., & Garnett, P. J. (1992). Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electric Circuits (Galvanic) and Electrolytic Cell. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079-1099.
- Treagust, D. F., & Haslam, F. (1986). *Evaluating Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-Tier Diagnostic Instrument*. San Francisco, CA, USA.
- Türker, F. (2005). *Developing a three tier test to assess high school students' misconceptions concerning force and motion*. (Unpublished master thesis). Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Wahyono, P., & Susetyarini, E. (2021). Misconceptions of biology education students in Biochemistry Course during the COVID-19 pandemic. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 7(2), 104-110.
- Wandersee, J. H. (1985). Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Student's Misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581-597.
- Wang, H., & Zhang, Z. (2016). The impact of experiential learning on students' conceptual understanding in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(6), 859-876.
- Westbrook, S. L., & Marek, E. A. (1992). A cross-age study of student understanding of concept of homeostasis. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 51-61.
- Wheatley, G. H. (1991). Constructivism Perspective on Science and Mathematics. *Science Education*, 75(1), 9-21.

- Whitney, D. R., & Sabers, D. L. (1970). *Improving Essay Examinations III. Use of Item Analysis* Technical Bulletin 11. Iowa City: University of Iowa, University Evaluation and Examination Service.
- Winifred, R. M. (1973). *Dictionary of Education* (3rd Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Wong, A., & Chan, K. L. (2019). Enhancing students' understanding of biology concepts through experiential learning and inquiry-based teaching strategies. *International Journal of Science Education*, 41(3), 289-311.
- Wong, Y. L., & Chan, K. W. (2019). The role of active learning in enhancing student satisfaction in higher education. *International Journal of Teaching and Learning*, 31(2), 201-210.
- World Economic Forum. (2016). *The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*. Cologny/Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- Yuenyong, C. (2019). Lesson learned of building up community of practice for STEM education in Thailand. *AIP Conference Proceedings*, 2081(1), 1-6.
- Za'Rour, G. I. (1975). Science Misconceptions Among Certain Groups of Students in Lebanon. *Journal of Research in Science Teaching*, 12(3), 385-391.
- Zhao, X., & Goh, S. C. (2013). Investigating the effects of an experiential learning approach to improve students' understanding of photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 35(8), 1309-1326.
- กฤตธรรม แพนล้นฟ้า, เชษฐ ศิริสวัสดิ์, และ ศรัญญ์ ภิบาลชนม์. (2561). ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการสอนมนทัศน์ร่วมกับกลยุทธ์การเปลี่ยนมนทัศน์ที่มีต่อมนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน. *วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี*, 4(2), 29-37.
- ไกรยส ภัทราวาท. (2559). *การเรียนรู้เพื่อทักษะแห่งอนาคตสู่ Education 4.0 for Thailand 4.0* [เอกสารประกอบการสอน]. กรุงเทพฯ: สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน (สสค.).
- จินดารัตน์ แก้วพิกุล. (2554). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี และความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การ*

- เปลี่ยนแปลงแนวคิด และการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น. (ปริญญาณิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ชมพู่ สุรกาญจน์ชาติ. (2557). ผลของการให้คำปรึกษาแบบกลุ่ม โดยใช้บรรณบำบัดที่มีต่อการเรียนรู้แบบนำตนเองของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคโนโลยีปัญญาภิวัฒน์. (ปริญญาณิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ชาตรี ฝ่ายคำตา. (2552). วิถีหาแนวคิดของผู้เรียน เครื่องมือสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในยุคปฏิรูปการศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์*, 24(2), 1-10.
- ชาตรี ลำราญ. (2544). *ครูรู้ได้อย่างไรว่าเด็กเกิดการเรียนรู้*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์.
- ถนนมสิน วันสุตล. (2547). การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวความคิดที่ผิดพลาดเกี่ยวกับมโนคติชีววิทยา : พืชหรือสัตว์ การจำแนกพืช และการจำแนกสัตว์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้เทคนิคการสอนของ Hesse. (ปริญญาณิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ทรัพย์สิริ เสนิงส์ ณ อยุธยา, สรรฐ ฤทธิ์ธวัชศักดิ์, นิศรา ระวียัน, และ วาสนา จักรแก้ว. (2564). การจัดการเรียนการสอนจากประสบการณ์ตามสภาพจริงตามรูปแบบกิจกรรมประสบการณ์. *วารสารธรรมศาสตร์*, 40(2), 116-129.
- ทิตนา แคมมณี. (2558). *ศาสตร์การสอน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นงนุช เสือพุมิ, วัลทณี นาคศรีสังข์, และ ประไพพิศ สิงหเสม. (2560). การจัดการเรียนรู้แบบประสบการณ์ทางการพยาบาล. *วารสารพยาบาลกระทรวงสาธารณสุข*, 27(1), 12-21.
- นภาพรณ ไพรพยอม. (2564). การจัดการเรียนการสอนชีววิทยาในศตวรรษที่ 21. *วารสารชุมชนแห่งการเรียนรู้วิชาชีพครู (Online)*, 1(1), 75 - 95.
- นัยนา ดอрман, ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา, และ ผ่องพรรณ เกิดพิทักษ์. (2563). การเรียนรู้เชิงประสบการณ์และการสะท้อนคิดเชิงวิพากษ์. *วารสารจิตวิทยา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต*, 10, 20-28.
- นิตยา ฤทธิ. (2559). การเปรียบเทียบมโนคติ เรื่อง การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนด้วยการเรียนแบบชิปปาเสริมด้วยเทคนิคการอุปมาและการเรียนแบบปกติ. *The Golden Teak : Humanity and Social Science Journal (GTHJ.)*, 22(2), 158-169.

- เนตรดาว นุ่มเกลี้ยง. (2554). การศึกษาแนวคิดและการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิตและการดำรงชีวิตของพืช ที่เรียนรู้จากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2545). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- บุญสม สุวรรณหงษ์. (2546). การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวความคิดที่ผิดพลาดเกี่ยวกับมโนคติฟิสิกส์ : งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้เทคนิคการสอนของ Hesse. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ปฐมพงศ์ อัมประภา. (2546). การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดที่ผิดพลาดเกี่ยวกับมโนคติชีววิทยา : การหมุนเวียนของเลือดและก๊าซ และการกำจัดของเสีย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้เทคนิคการสอนของ Hesse. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ปรีชา วงศ์ศิริ. (2527). เอกสารการสอนชุดวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 6. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ปวีนา งามชัด. (2556). การเปลี่ยนแปลงมโนคติทางวิทยาศาสตร์และความสัมพันธ์ระหว่างการเห็นคุณค่าในตนเองกับการเปลี่ยนแปลงมโนคติ เรื่อง การสืบพันธุ์ของพืชดอก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ปิตุพงษ์ ท่าค้อ. (2557). การพัฒนามโนคติเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับยุทธศาสตร์สแคฟโฟลด์. (ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, พัฒน์ จันทร์, กันทิมาณี พันธุ์เขียว, และ วรณทิพา รอดแรงคำ. (2546). การสำรวจแนวคิดเนื้อหาชีววิทยาของนิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู. วารสารวิทยาศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์, 24(2), 133-144.
- พงศ์กา ถิ่นแสนดี. (2547). การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวความคิดที่ผิดพลาดเกี่ยวกับมโนคติฟิสิกส์ : อัตราเร็วของแสงและการสะท้อนของแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้เทคนิคการสอนของ Hesse. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

- พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ. (2553). การปรับเปลี่ยนมโนคติ เรื่อง เซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003). (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- พิชา ชัยจันดี, และ วรณจรี มังสิงห์. (2552). ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติและความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อเกี่ยวกับแรงจูงใจกับการเปลี่ยนแปลงมโนคติ. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 32(3), 38-47.
- ไพฑูรย์ สุขศรีงาม. (2537). การเรียนรู้ตามทัศนะกลุ่มสร้างสรรค์ความรู้ (Constructivism) กับการสอนวิทยาศาสตร์. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม, 12(2), 111-118.
- ไพโรจน์ เต็มเตชาพงศ์. (2550). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงมโนคติของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง น้ำที่ยื่น โดยใช้กรอบการตีความหมายหลายมิติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ภพ เลหาไพบูลย์. (2540). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- มณีกานต์ หินสอ. (2549). ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบการไหลเวียนโลหิตในร่างกายมนุษย์ของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงเมื่อใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- วรพจน์ โพธิ์พันธ์ไม้. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีเปลี่ยนแปลงมโนคติร่วมกับการใช้ผังมโนคติที่มีต่อมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- วันเพ็ญ คำเทศ. (2560). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์: ประเภทและเครื่องมือประเมิน (Scientific Misconception: Type and Assessment Tool). วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 10(2), 54-64.
- วิเชียร เกตุสิงห์. (2538). หลักการสร้างและวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- วีระชาติ สอนไพรินทร์. (2531). การสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562a). คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. กรุงเทพฯ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562b). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม

วิทยาศาสตร์ชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมภาร เชื้ออ่อน. (2554). ประสิทธิภาพของรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกลุ่มในการทดลองวิทยาศาสตร์. *Veridian E-Journal SU*, 4(1), 645-651.

สังวาลย์ อติรัตนวงษ์. (2556). การเปลี่ยนแปลงมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การดำรงชีวิตของพืช ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติของ Hewson & Hewson (2003) ร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2551). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, และ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

(2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สิรินภา กิจเกื้อกูล, และ นฤมล ยุตาคม. (2547). "การศึกษาแนวคิดเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 4". *วารสารเกษตรศาสตร์ (สังคม)*, 26, 133-145.

สิริมา มิ่งเมือง. (2560). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยใช้เทคนิคแผนผังความคิดเพื่อพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์.

สิริรัตน์ สุขชีวะ. (2543). แนวความคิดเลือกเกี่ยวกับมโนคติชีววิทยา: การหายใจและการสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนที่มีระดับความพร้อมในการสอนวิทยาศาสตร์ต่างกัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

สุจิตรา ตริรัตน์นุกุล. (2562). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ สำหรับส่งเสริมกรอบความคิดด้านเชาวน์ปัญญาของนักศึกษาระดับอาชีวศึกษา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

- สุจินต์ วิศวธีรานนท์. (2538). แนวโน้มการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ [เอกสารประกอบการบรรยายและสัมมนา]. ขอนแก่น: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุนิษา คำสะอาด. (2558). การเปลี่ยนแปลงมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสืบพันธุ์ของสัตว์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson & Hewson (2003): การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- สุภกิจ จวงจันทร์. (2547). ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยการใช้การจัดการเรียนรู้รูปแบบการสร้างความรู้จากพื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียนร่วมกับการส่งเสริมการใช้ทักษะภาษา. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 28(2), 48-57.
- เสงี่ยม ช่างเกวียน. (2541). การติดตามผลการสอนซ่อมเสริมในวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องแสง โดยใช้กลวิธีการสอนตามทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติของ โฟสเนอร์และคณะ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เสาวนีย์ สังฆะซี. (2554). ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง บรรยากาศ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภายหลังใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เสาวภา วิชาดี. (2554). รูปแบบการเรียนรู้ของผู้เรียนในมุมมองของทฤษฎีการเรียนรู้แบบ ประสพการณ์. วารสารนักบริหาร, 31(1), 175-180.
- อรรถพล พลอยมีค่า. (2562). ผลของการใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติของฮิวสันและฮิวสันผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบ 7 ขั้น ที่มีต่อความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี ของผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- อังคณา ปัทมพงศา. (2555). การพัฒนาแนวคิดเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงและมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ ร่วมกับการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบขัดแย้งของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อัศวิน พุ่มมรินทร์. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้แบบซีปปา (CIPPA MODEL) เรื่อง ลำดับและอนุกรมที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและความสามารถในการสื่อสารทาง

คณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. (ปริญญาณิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต).
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกุล. (2555). เอกสารประกอบการสอนรายวิชา ศษ 451 การวัดประเมินทาง
การศึกษา (Educational Assessment). กรุงเทพฯ: ภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อิสราพร เกรินทวงศ์. (2557). การเปลี่ยนแปลงมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติของ
Hewson & Hewson (2003) ร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา. (วิทยานิพนธ์
ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.







ภาคผนวก ก
เอกสารขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เอกสารขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ค.ค. 61



หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC-158/2566E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การพัฒนามโนคติเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ตอนปลาย

ชื่อผู้วิจัยหลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาพบทวน

1. แบบเสนอโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 ก.ย. 2566
2. โครงร่างการวิจัย	ฉบับที่ 1 วัน/เดือน/ปี 7 มิ.ย. 2566
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 ก.ย. 2566
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย	ฉบับที่ 1 วัน/เดือน/ปี 7 มิ.ย. 2566

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)

กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(แพทย์หญิงสุริพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E-158/2566

วันที่ให้การรับรอง : 21/09/2566

วันหมดอายุใบรับรอง : 20/09/2567

ภาพประกอบ 57 หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย

ภาคผนวก ข

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย



รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด จำนวน 5 ท่าน ในการตรวจสอบความสอดคล้องและคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดมโนคติแบบสัมพัทธ์ และแบบสำรวจความพึงพอใจ แบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา จำนวน 2 ท่าน โดยมีรายนามดังนี้

1. รศ.ดร.อัจฉริยา รั้งศิริจิ ตำแหน่ง อาจารย์
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. รศ.ดร.วรรณรัตน์ ผลเพิ่ม ตำแหน่ง อาจารย์
ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. อ.ดร.รัชชา ศุภระจันท์ ตำแหน่ง อาจารย์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
4. นางปิยธิดา บุญชะตา ตำแหน่ง ศึกษาพิเศษ วิจัยฐานะศึกษานิเทศก์ชำนาญการ
กลุ่มนิเทศติดตามและประเมินผลฯ
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา
กรุงเทพมหานคร เขต 2
5. นางอารี อนันต์ศรี ตำแหน่ง ครู วิจัยฐานะครูชำนาญการพิเศษ
สาขาวิชาชีววิทยา
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี

ภาคผนวก ค

ผลคะแนนและตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนที่นำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา



ผลคะแนนแบบทดสอบวัดมโนคติที่นำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

ตาราง 12 คะแนนความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนและหลังเรียน และระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเป็นรายบุคคลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

นักเรียน หมายเลข	คะแนน ก่อนเรียน (60.00 คะแนน)	ร้อยละ	คะแนน หลังเรียน (60.00 คะแนน)	ร้อยละ	ระดับความก้าวหน้าทาง การเรียนเป็นรายบุคคล (normalized gain, $<g>$)
1	12.00	20.00	45.00	75.00	0.31
2	10.00	16.67	56.00	93.33	0.47
3	7.00	11.67	42.00	70.00	0.34
4	6.00	10.00	51.00	85.00	0.46
5	4.00	6.67	38.00	63.33	0.34
6	10.00	16.67	47.00	78.33	0.36
7	3.00	5.00	34.00	56.67	0.31
8	11.00	18.33	57.00	95.00	0.47
9	9.00	15.00	38.00	63.33	0.27
10	8.00	13.33	47.00	78.33	0.39
11	12.00	20.00	54.00	90.00	0.43
12	16.00	26.67	47.00	78.33	0.28
13	10.00	16.67	44.00	73.33	0.33
14	10.00	16.67	55.00	91.67	0.46
15	8.00	13.33	36.00	60.00	0.26
16	12.00	20.00	49.00	81.67	0.36
17	5.00	8.33	41.00	68.33	0.36
18	7.00	11.67	31.00	51.67	0.22

ตาราง 12 (ต่อ)

นักเรียน หมายเลข	คะแนน ก่อนเรียน (60.00 คะแนน)	ร้อยละ	คะแนน หลังเรียน (60.00 คะแนน)	ร้อยละ	ระดับความก้าวหน้าทาง การเรียนรู้เป็นรายบุคคล (normalized gain, <g>)
19	15.00	25.00	38.00	63.33	0.17
20	11.00	18.33	33.00	55.00	0.18
21	8.00	13.33	24.00	40.00	0.12
22	7.00	11.67	49.00	81.67	0.42
23	7.00	11.67	45.00	75.00	0.38
24	10.00	16.67	55.00	91.67	0.46
25	3.00	5.00	38.00	63.33	0.35
26	11.00	18.33	36.00	60.00	0.22
27	9.00	15.00	49.00	81.67	0.40
28	11.00	18.33	47.00	78.33	0.35
29	15.00	25.00	54.00	90.00	0.39
30	10.00	16.67	42.00	70.00	0.30
31	14.00	23.33	55.00	91.67	0.41
32	15.00	25.00	52.00	86.67	0.36
$\bar{X}$	9.56	15.94	44.66	74.43	0.34
SD	3.42	5.69	8.36	13.94	0.09

หมายเหตุ ผู้วิจัยได้ใช้หมายเลขแทนชื่อผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อไม่ให้อาจารย์ระบุถึงตัวนักเรียนและอาจเกิดผลกระทบต่อนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาในภายหลัง

ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนที่นำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

ตัวอย่าง ข้อสอบข้อที่ 18 มโนคติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้

18. พืชทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon fixation) ในเวลากลางวัน เนื่องจากปากใบจะเปิดในเวลากลางวันเพื่อรับ CO_2 เข้ามา แต่สำหรับพืชที่ขึ้นในทะเลทรายนั้น ปากใบจะปิดในเวลากลางวัน นักเรียนคิดว่าจะเกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์หรือไม่และประสิทธิภาพในการตรึงเป็นอย่างไร

1. มีการตรึง CO_2 และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงเหมือนพืชทั่วไป
2. มีการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงด้วยสูงกว่าพืชทั่วไป
3. มีการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าพืชทั่วไป
4. ไม่เกิดการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนพืชทั่วไป
5. ไม่เกิดการตรึง CO_2 ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าพืชทั่วไป

แนวทางการพิจารณากลุ่มคำตอบเพื่อตรวจให้คะแนนและจัดระดับความเข้าใจมโนคติ โดยนักเรียนต้องเลือกคำตอบถูกและให้เหตุผลอธิบายและเปรียบเทียบตำแหน่ง เวลา และจำนวนครั้งในการเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 , C_4 , และ CAM ได้ถูกต้องครบทุกองค์ประกอบของมโนคติ ดังนี้

ตอบข้อ 2 เหตุผลเพราะ

1) **ระบุได้ว่า** พืชที่ขึ้นในทะเลทรายเป็นพืช CAM

2) **อธิบายได้ว่า** พืช CAM มีการตรึง CO_2 เกิดขึ้น 2 ครั้ง เช่นเดียวกับพืช C_4 แต่ต่างกันตรงที่การตรึง CO_2 ทั้งสองครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกัน แต่เกิดต่างช่วงเวลา โดยต่างจากพืชทั่วไป (C_3) ที่มีการตรึง CO_2 1 ครั้ง โดยนักเรียนอาจให้รายละเอียดเพิ่มเติมได้ดังนี้

- ในเวลากลางคืนมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสูงขึ้น พืชกลุ่มนี้เปิดรูปากใบเพื่อตรึง CO_2 ที่อยู่ในรูปของ HCO_3^- โดยใช้เอนไซม์ PEP carboxylase ในเซลล์มีโซฟิลล์ โดย HCO_3^- จะทำปฏิกิริยากับ PEP ได้เป็น OAA ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดมาลิกและเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล

- ในเวลากลางวัน รูปากใบจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ พืชจะมีปฏิกิริยาแสง กรดมาลิกจะถูกปล่อยออกจากแวคิวโอลสลายเป็นกรดไพรูวิกและ CO_2 โดย CO_2 จะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินในคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ในเซลล์เดียวกัน ส่วนกรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น PEP อีกครั้ง

3) ให้เหตุผลได้ว่า การที่รูปปากใบปิดและเกิดการสลายของกรดมาลิกในเวลากลางวัน จึงไม่มีการปล่อย CO_2 ออกนอกเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ภายในเซลล์สูง โฟโตเรสไพเรชันจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก ทำให้พืช CAM มีการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงด้วยสูงกว่าพืชทั่วไป (C_3)

ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติ การพิจารณากลุ่มคำตอบและจำแนกตามระดับความเข้าใจมโนคติของแบบทดสอบข้อที่ 18 ดังนี้

นักเรียนหมายเลข 21

ตอบข้อ 4 เหตุผลเพราะ -

$NU/NC = 0$

ภาพประกอบ 58 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 21

จากภาพประกอบ 58 จะเห็นได้ว่า คำตอบของนักเรียนเลือกคำตอบผิด และไม่เขียนคำตอบ หรือตอบที่แสดงว่าไม่รู้ไม่เข้าใจ จึงพิจารณาให้ความเข้าใจในมิติในระดับความไม่เข้าใจหรือไม่มีนิมิต (no understanding: NU or no conception: NC) เท่ากับ 0 คะแนน

นักเรียนหมายเลข 5

4. ~~X~~ เหตุผลเพราะ ตอมนกลางวันไม่มีการเปิดของปากใบทำให้พืช C_4 ~~X~~
 photosynthesis น้อยลง C_3 ~~X~~
 มากกว่า
 $AC = 0$

ภาพประกอบ 59 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 5

จากภาพประกอบ 59 จะเห็นได้ว่า คำตอบของนักเรียนเลือกคำตอบผิด และให้เหตุผลแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด จึงพิจารณาให้ความเข้าใจใหม่นิยามในระดับที่คลาดเคลื่อน (alternative conception : AC) เท่ากับ 0 คะแนน

นักเรียนหมายเลข 16

พืชทะเลทราย = พืช CAM

ตอบข้อ 2 เหตุผลเพราะ ~~C₃ รับ CO₂ มาเร็ววัน 1.3 = คือความแตกต่างว่า C₃~~ ✓

PS = 1

ภาพประกอบ 60 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 16

จากภาพประกอบ 60 จะเห็นได้ว่า คำตอบของนักเรียนเลือกคำตอบถูก และให้เหตุผลถูกบางส่วน แต่บางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน หรือเลือกคำตอบถูกแต่ไม่อธิบายคำตอบ จึงพิจารณาให้ความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific alternative conception: PS) เท่ากับ 1 คะแนน

นักเรียนหมายเลข 29

ตอบข้อ 2 เหตุผลเพราะ พืชทะเลทราย (CAM) มีการตรึง CO₂ เปลี่ยน พืช C₄ ซึ่งสูงกว่าการตรึงของพืช C₃ แต่ต่างเพียงช่วงเวลา Hatch-slack cycle เกิดกลางวัน, Calvin cycle เกิดกลางคืน พืช CAM มีการตรึง CO₂ 2 ครั้ง ซึ่งมากกว่า พืช C₃ ที่มีการตรึง CO₂ 1 ครั้ง ทำให้ พืช CAM มีประสิทธิภาพ สังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่า พืช C₃ ✓

ติดทฤษฎีบทเชื่อมโยง PU = 2

เกี่ยวกับ photosynthesis ด้านกระบวนการที่ CAM สังเคราะห์ด้วยแสงได้

ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 29

จากภาพประกอบ 61 จะเห็นได้ว่า คำตอบของนักเรียนเลือกคำตอบถูก และให้เหตุผลถูกอย่างน้อย 2 องค์ประกอบ แต่ขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน จึงพิจารณาให้ความเข้าใจมโนคติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding: PU) เท่ากับ 2 คะแนน

นักเรียนหมายเลข 8

ตอบข้อ 2 ✓ เหตุผลเพราะ ตั้งที่ไว้ในทะเลทรายเป็นพวก CAM plant ✓
 จึงมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้งคือ Hatch-Slack cycle (กลางคืน)
 และ Calvin cycle (กลางวัน) และใช้ประสิทธิภาพแสงเคราะห์ด้วยแสง
 สูงกว่าพืชทั่วไป (C₃-plant) ✓ เนื่องจากโอกาสที่ O₂ จะมาแย่งจับ RuBP ยาก ✓
 กว่าพืชทั่วไป CU = 3 ✓

ภาพประกอบ 62 ตัวอย่างการตอบแบบทดสอบวัดมโนคติหลังเรียนของนักเรียนหมายเลข 8

จากภาพประกอบ 62 จะเห็นได้ว่า คำตอบของนักเรียนเลือกคำตอบถูก และให้เหตุผล
 ให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญของมโนคติทั้ง 3 องค์ประกอบ จึงพิจารณาให้
 ความเข้าใจมโนคติในระดับที่สมบูรณ์ (complete understanding: CU เท่ากับ 3 คะแนน



ภาคผนวก ง
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 การสังเคราะห์ด้วยแสง เรื่อง ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง
 รายวิชา ชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
 ผู้สอน นายณัฐพงศ์ สกุลกิจโกศลนันทน์ จำนวน 3 คาบ (150 นาที)

1. สาระการเรียนรู้

สาระชีววิทยา 3. เข้าใจส่วนประกอบของพืช การแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. ผลการเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปปัจจัยความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

3. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

1. ความสามารถในการสื่อสาร
2. ความสามารถในการคิด
3. ความสามารถในการแก้ปัญหา
4. ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต
5. ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

4. สาระสำคัญ (concept)

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่อยู่ในระดับสูงสุด เรียกปัจจัยนั้นว่าเป็นปัจจัยจำกัด หากปัจจัยจำกัดนั้นมีปริมาณมากขึ้นจนเพียงพอจะไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป แต่อาจมีปัจจัยอื่นที่กลายเป็นปัจจัยจำกัดที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

แสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะความเข้มแสง พืชจะมี light compensation point คือ ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มแสง (light saturation point) คือ จุดที่เพิ่มความเข้มแสงแล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น พืช C_3 มีจุดทั้งสองต่ำกว่าพืช C_4 แต่ถ้าความเข้มแสงมาก ๆ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในพืชทั้งสองชนิด

ส่วนพืชในที่ร่มใช้แสงปริมาณน้อยก็เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงมี light compensation point ต่ำกว่าพืชในที่แจ้ง

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลเช่นเดียวกันกับความเข้มแสง พืชมี CO_2 compensation point คือ ความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการหายใจ ทำให้การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ ส่วนจุดอิ่มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 saturation point) คือจุดที่เพิ่มความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วแต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่เพิ่มขึ้น โดยพืช C_4 มีจุดทั้งสองต่ำกว่าพืช C_3

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชประมาณ 10-30 องศาเซลเซียส เพราะเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพไม่สามารถทำงานได้ หรืออุณหภูมิต่ำเกินไปก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลงได้เช่นกัน

เมื่อพืชเริ่มขาดน้ำจะทำให้รูปากใบแคบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งส่งผลให้ CO_2 ในบรรยากาศ แพร่เข้าสู่ใบได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง

ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของโคแฟกเตอร์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ต้องใช้เอนไซม์

5. จุดประสงค์การเรียนรู้/จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ด้านความรู้ (K)

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (P)

ทดลอง อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

1. ความสนใจใฝ่รู้ เข้าเรียน ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมและปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย
2. รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
3. มีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

6. สารการเรียนรู้ (content)

ปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มแสงให้พืชจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่า ความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่มีผลในการจำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในขณะนั้น จึงกล่าวได้ว่า ความเข้มแสงเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงต่อไปก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดแล้ว แต่มีปัจจัยอื่นเป็นปัจจัยจำกัดแทน และถ้าต้องการให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นอีกก็ต้องพิจารณาว่าในขณะนั้นปัจจัยใดที่เป็นปัจจัย จำกัดความเข้มแสง เช่น ความเข้มข้นของ CO_2 ซึ่งถ้าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ความเข้มแสง

เมื่อให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มแสง มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียก ค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point)

ในขณะที่พืชมีการตรึง CO_2 พืชก็มีการหายใจระดับเซลล์และปล่อย CO_2 โดยในที่มีดจะพบว่า อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเป็นลบเนื่องจาก CO_2 ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่า $\\text{CO}_2$ ที่ปล่อยจากการหายใจระดับเซลล์ และเมื่อลดความเข้มแสงจนกระทั่งอัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยแสง หรือไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ (light compensation point)

ในสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควัน หากมีปริมาณมากจนทำให้ความเข้มแสงน้อยกว่าค่าไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเป็นลบนั่นคือ ความเข้มแสงไม่เพียงพอสำหรับพืชในการดำรงชีวิตอยู่ได้

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกันจนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide saturation point)

เมื่อลดความเข้มข้นของ CO_2 จนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 ของการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เรียกค่าความเข้มข้นของ

CO₂ ที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ (carbon dioxide compensation point)

อุณหภูมิ

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชประมาณ 10-30 องศาเซลเซียส เพราะเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพไม่สามารถทำงานได้ หรืออุณหภูมิ ต่ำเกินไปก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลงได้เช่นกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถึงระดับหนึ่งการหายใจระดับเซลล์และโฟโตเรสไพเรชันจะเพิ่มขึ้น ทำให้การตรึง CO₂ สุทธิลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลทำให้เยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านลดลง

ปริมาณน้ำ

เมื่อพืชเริ่มขาดน้ำจะทำให้รูปากใบแคบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งส่งผลให้ CO₂ ในบรรยากาศ แพร่เข้าสู่ใบได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง นอกจากนี้การขาดน้ำทำให้รูปากใบแคบลงจนปากใบปิด ซึ่งมีผลทำให้การคายน้ำลดลง นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในใบ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงอีกด้วย

ธาตุอาหาร

พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิด ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของโคแฟกเตอร์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ต้องใช้เอนไซม์ ธาตุอาหารอะไรบางอย่างที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ธาตุแมกนีเซียมและไนโตรเจนเป็นธาตุอาหาร ที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ส่วนธาตุเหล็กจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ พืชที่ขาดธาตุเหล่านี้จะมีอาการใบเหลืองซีดที่เรียกว่า คลอโรซิส (chlorosis) ส่วนธาตุแมงกานีสและคลอรีนจำเป็นต่อการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยาแสง

7. กระบวนการจัดการเรียนรู้ (ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอล์บ 4 ขั้นตอน)

ขั้นที่ 1 การสร้างประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (concrete experience)

(ผู้เรียนลงมือทำกิจกรรมผ่านประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นความรู้สึกรับรู้จากประสบการณ์จริง (experiencing) ใช้ความรู้สึกรับรู้ข้อมูล เรียนรู้จากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม โดยผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อทำให้ผู้เรียนรู้ว่าโมติเดมไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์)

1) ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยยกตัวอย่างสถานการณ์จริงที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

- นักเรียนเคยสังเกตไหมว่า พืชชนิดเดียวกันที่ปลูกกลางแจ้งกับปลูกในที่ร่มจะมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

- ในการเพาะเมล็ดและปลูกพืชจนเจริญเติบโต นักเรียนสังเกตหรือไม่ว่าพืชต้องใช้ปัจจัยใดบ้างในการสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และนักเรียนดูแลเอาใจใส่พืชนั้นอย่างไร

(นักเรียนอาจมีคำตอบหลากหลายตามประสบการณ์และความรู้เดิม ทำให้นักเรียนได้แสดงมโนคติเดิมออกมา ซึ่งอาจถูกหรือผิดก็ได้)

แล้วครูสรุปว่า ในปัจจุบันประชากรมนุษย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ความต้องการอาหารทั้งเนื้อสัตว์ พืช ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากพืชให้ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุดจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถนำความรู้มาประยุกต์กับการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น

2) ครูกล่าวว่าปัจจัยที่พืชต้องการในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีอะไรบ้าง ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้จากการทำกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (ตามแนวทางจากหนังสือชีววิทยา เล่ม 3 สสวท. หน้าที่ 162 -164)

3) ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม หรืออาจใช้กลุ่มตามเดิมโดยคณะนักเรียนเก่งกลาง และอ่อน

4) ให้นักเรียนรวมกลุ่มของตนเอง ครูอธิบายและให้ศึกษาขั้นตอนวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทำกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

5) ครูแจกใบกิจกรรม เรื่อง การทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ให้นักเรียนลงมือทำกิจกรรม บันทึกผล และตอบคำถามท้ายกิจกรรม

ขั้นที่ 2 การสะท้อนคิดจากการสังเกต (reflective observation)

(ผู้เขียนคิดไตร่ตรอง ทำความเข้าใจในสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสะท้อนคิดจากประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (reflecting) เป็นการเรียนรู้จากการดู การสังเกต แล้วคิดหาเหตุผล ทำความเข้าใจ ใช้เวลาไตร่ตรองเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน)

- 1) ให้ตัวแทนกลุ่มออกมานำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการทำกิจกรรม
- 2) นักเรียนและครูร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลอง ควรสรุปและอภิปรายได้ดังนี้

(แนวคำตอบ จากการทำกิจกรรม ผลการทดลองพบว่า แผ่นใบไม้ชุบที่ได้รับความร้อนมีฟองแก๊สเกาะอยู่ที่ผิวใบและปล่อยแก๊สออกจากผิวใบ ทำให้แผ่นใบไม้ลอยขึ้นผิวน้ำ ส่วนชุดที่แผ่นใบไม้ไม่ได้รับความร้อนจะไม่มีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและแผ่นใบไม้จมอยู่ด้านล่างดังเดิม นักเรียนจึงควรสรุปได้ว่า ในที่มีแสงแผ่นใบไม้สามารถผลิตแก๊สได้และแก๊สนี้จะเป็น O_2 จากการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งถ้าต้องการตรวจสอบว่าเป็น O_2 หรือไม่จะต้องหาวิธีการเก็บแก๊สและนำแก๊สมาทดสอบการช่วยให้ไฟติดต่อไป)

- 3) นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามท้ายกิจกรรม ดังนี้

- การใช้สารละลาย $NaHCO_3$ มีวัตถุประสงค์อะไร

(แนวคำตอบ เพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอนที่แผ่นใบไม้นำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง)

- ผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

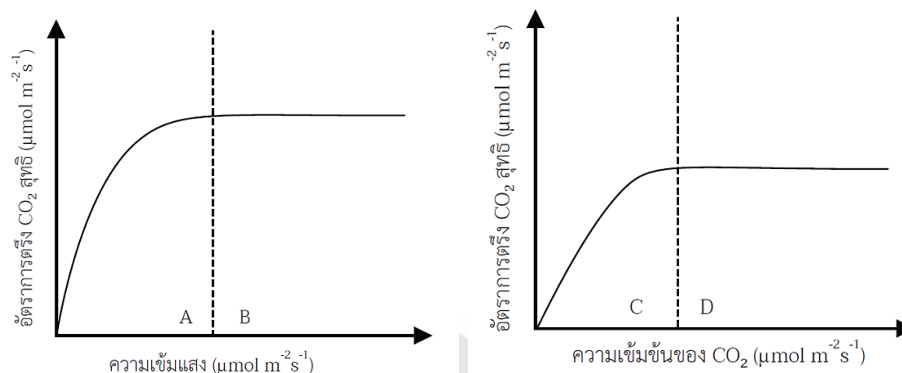
(แนวคำตอบ ต่างกัน คือ ชุดที่วางไว้ในที่มีแสงจะมีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและปล่อยแก๊สออกจากผิวใบ ทำให้แผ่นใบไม้ลอยขึ้นผิวน้ำ ส่วนชุดที่วางในที่มืดในเวลาเท่ากันจะไม่มีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและใบไม้จมอยู่ด้านล่างดังเดิม เพราะชุดที่วางไว้ในที่มีแสงสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงได้ O_2 ที่ปล่อยออกมาจากใบ แต่ชุดที่วางในที่มืดไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จึงไม่มี O_2 ปล่อยออกมาจากใบ)

- เพราะเหตุใดจึงต้องมีชุดการทดลองในที่มืด

(แนวคำตอบ ชุดการทดลองในที่มืดเป็นชุดที่เปรียบเทียบกับชุดที่มีแสง เพื่อสรุปว่าแสงจำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ทั้ง 2 ชุด ยังมีการใช้ O_2 ในการหายใจระดับเซลล์ และได้ CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เหมือนกัน)

จากนั้นครูเพิ่มเติมว่า “ถ้าต้องการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จะออกแบบการทดลองอย่างไร” โดยครูยกกรณีศึกษาในการทดลองวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มแสงต่างกัน เพื่อให้ นักเรียนเข้าใจว่าผลของความเข้มแสงสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

4) ครูแสดงภาพผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และให้นักเรียนสังเกตความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและอัตราการตรึง CO_2 สุทธิ ดังนี้



ภาพแสดง (ซ้าย) ผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ภาพแสดง (ขวา) ผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
ที่มา: PowerPoint บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง เรื่อง 11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง สสวท.

5) ครูมอบหมายให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสุ่มนักเรียน 3 คนมาตอบคำถาม เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน

- จากกราฟ ช่วง A หรือ B ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมีแสงเป็นปัจจัยจำกัด

(แนวคำตอบ ช่วง A)

- ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ในช่วง B ควรทำอย่างไร

(แนวคำตอบ ให้พิจารณาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยจำกัดแล้วจึงเพิ่มปัจจัยนั้น เช่น

ความเข้มข้นของ CO_2 เป็นต้น)

- จากกราฟ ช่วง C หรือ D ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมี CO_2 เป็นปัจจัยจำกัด

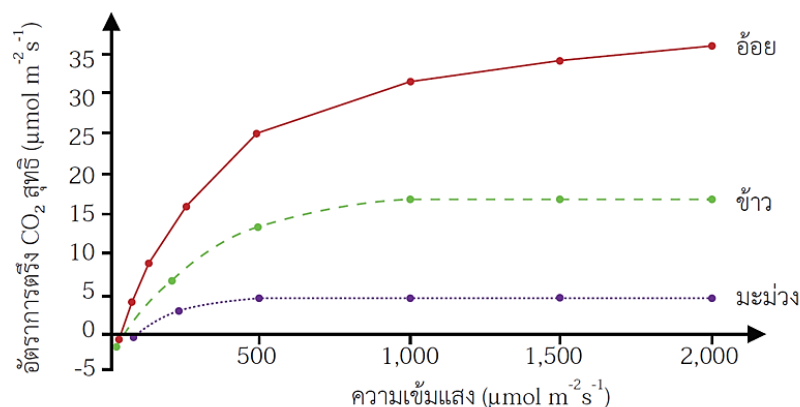
(แนวคำตอบ ช่วง C)

6) ครูมอบหมายให้นักเรียนทุกกลุ่มทำใบกิจกรรม โดยให้แต่ละกลุ่มศึกษาหัวข้อ ดังนี้

- ให้กลุ่มที่ 1 และ 2 ศึกษา เรื่อง ผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
- ให้กลุ่มที่ 3 และ 4 ศึกษา เรื่อง ผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

7) ครูแสดงภาพผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด ดังนี้



ภาพแสดงผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด

ที่มา : PowerPoint บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง

เรื่อง 11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง สสวท.

8) ครูให้นักเรียนกลุ่มที่ 1 และ 2 ออกมาอธิบายกราฟ และให้กลุ่มที่ 3 และ 4 ตอบคำถาม ดังนี้

- ข้าวมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีความเข้มแสงเท่าใด

(แนวคำตอบ $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

- ในที่ที่มีความเข้มแสงสูง พืชชนิดใดมีอัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุด

(แนวคำตอบ อ้อย)

- ถ้าความเข้มแสงเป็น $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ อัตราการตรึง CO_2 สูงสุดของอ้อยเป็นเท่าใด

(แนวคำตอบ $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

- พืชชนิดใดเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากกว่า $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ จะมีอัตราการตรึง CO_2

สูงที่สุดที่

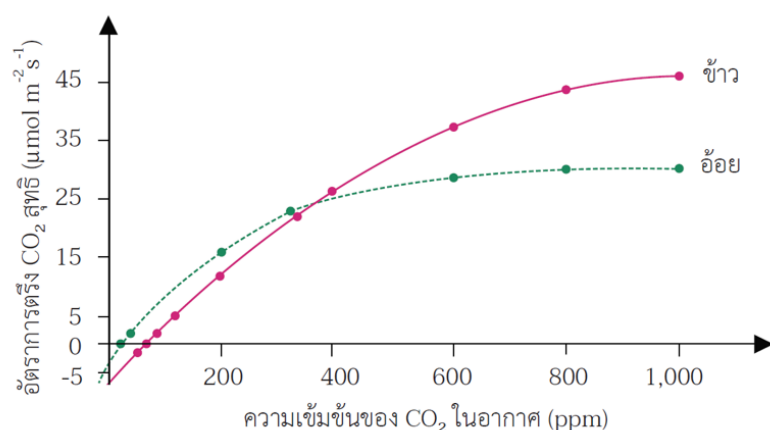
(แนวคำตอบ มะม่วง)

- ในช่วงความเข้มแสงใดเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของมะม่วง

(แนวคำตอบ $0 - 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

9) นักเรียนและครูร่วมกันอธิบายความหมายของจุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point) และไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ (light Compensation point)

10) ครูแสดงภาพผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 2 ชนิด ดังนี้



ภาพแสดงผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 2 ชนิด

ที่มา : PowerPoint บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง

เรื่อง 11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง สสวท.

11) ครูให้นักเรียนกลุ่มที่ 3 และ 4 ออกมาอธิบายกราฟ และให้กลุ่มที่ 1 และ 2 ตอบคำถาม
ดังนี้

- ความเข้มข้นของ CO₂ ในอากาศที่เพิ่มมากขึ้น จะมีผลต่ออัตราการตรึง CO₂ สุทธิอย่างไร

(แนวคำตอบ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของ CO₂ ต่ำ เช่น ที่ 200 ppm อ้อยจะมีอัตราการตรึง CO₂ สุทธิสูงกว่าข้าว แต่เมื่อความเข้มข้นของ CO₂ สูงขึ้นประมาณ 380 ppm อัตราการตรึง CO₂ สุทธิของพืชทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO₂ ให้สูงขึ้นไปอีก เช่น ตั้งแต่ 400 ppm ขึ้นไป จะพบว่าอัตราการตรึง CO₂ สุทธิของข้าวเพิ่มสูงกว่าอ้อยและเมื่อดูจากกราฟแนวโน้มของการตรึง CO₂ สุทธิของข้าวจะเพิ่มสูงขึ้นไปอีก)

- เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตรึง CO₂ สุทธิของข้าวซึ่งเป็นพืช C₃ และอ้อยซึ่งเป็นพืช C₄ ที่ระดับความเข้มข้นของ CO₂ ในอากาศ 200 600 และ 800 ppm ผลเป็นอย่างไร

(แนวคำตอบ อัตราการตรึง CO₂ สุทธิของอ้อยซึ่งเป็นพืช C₄ จะสูงกว่าข้าวซึ่งเป็นพืช C₃ ในช่วงที่มีความเข้มข้นของ CO₂ ต่ำ ๆ เท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO₂ ให้สูงขึ้น จะพบว่าอ้อยจะถึงจุดอิ่มตัวของ CO₂ เร็วกว่าข้าว)

- ถ้าค่าอัตราการตรึง CO₂ สุทธิติดลบ หมายความว่าอย่างไร

(แนวคำตอบ CO₂ ที่ปล่อยออกมาจากการหายใจระดับเซลล์มีค่ามากกว่า CO₂ ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสง)

12) นักเรียนและครูร่วมกันอธิบายความหมายของจุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide saturation point) และคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ (carbon dioxide compensation point)

13) ครูกล่าวนำว่า นอกจากแสงและคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาว่า อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชอย่างไร

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิดที่เป็นนามธรรม (abstract conceptualization)

(ผู้เรียนสรุปผลที่ได้จากการสะท้อนคิด จากการสังเกต แล้วคิดไตร่ตรองจนสร้างเป็นแนวคิดของตนเอง (thinking) เป็นการเรียนรู้จากการคิดหลังจากการสังเกตแล้ว ผู้เรียนจะคิดหาข้อสรุปเป็นแนวคิดที่เป็นนามธรรมหรือกฎเกณฑ์ โดยผู้เรียนจะเกิดกระบวนการปรับปรุงมโนคติเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้ ทำให้เห็นว่ามโนคติเดิมนั้นไม่สามารถอธิบายได้ และยอมรับมโนคติใหม่ได้ในที่สุด)

1) ครูให้ตัวแทนนักเรียนกลุ่มที่ 1 และ 2 ออกมาสรุปผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยสรุปให้ได้แนวคิดที่สำคัญว่า

เมื่อให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียก ค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point)

ในขณะที่พืชมีการตรึง CO_2 พืชก็มีการหายใจระดับเซลล์และปล่อย CO_2 โดยในที่มืดจะพบว่า อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเป็นลบเนื่องจาก CO_2 ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่า CO_2 ที่ปล่อยจากการหายใจระดับเซลล์ และเมื่อลดความเข้มแสงจนกระทั่งอัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยแสง หรือไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ (light compensation point)

ในสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควัน หากมีปริมาณมากจนทำให้ความเข้มแสงน้อยกว่าค่าไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเป็นลบ นั่นคือความเข้มแสงไม่เพียงพอสำหรับพืชในการดำรงชีวิตอยู่ได้

2) ครูให้ตัวแทนนักเรียนกลุ่มที่ 3 และ 4 ออกมาสรุปผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยสรุปให้ได้แนวคิดที่สำคัญว่า

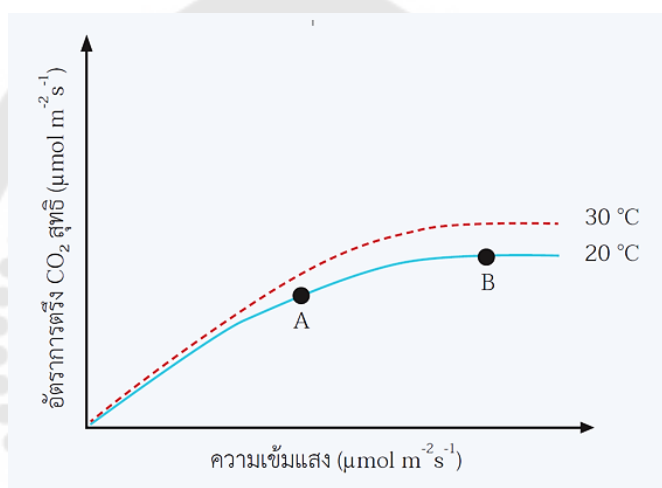
เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide saturation point)

เมื่อลดความเข้มข้นของ CO_2 จนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 ของการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เรียกว่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ (carbon dioxide compensation point)

3) จากนั้นครูสอบถามหรือขอให้ตัวแทน 3 คน เพื่อมาอธิบายว่าอุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชอย่างไร

4) ครูอธิบายและให้นักเรียนสรุปและอภิปรายร่วมกันให้ได้มโนคติที่ถูกต้อง

5) ครูแสดงภาพและถามคำถามเพื่ออภิปรายและทดสอบความเข้าใจของนักเรียน ตัวอย่างดังนี้



ที่มา : Power point บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง

เรื่อง 11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง สสวท.

- ปัจจัยจำกัดสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร

(แนวคำตอบ) พืชจะเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ดียิ่งขึ้น ถ้าได้รับปัจจัยจำกัดจนถึงระดับที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในระดับที่ทำให้ปัจจัยนั้นไม่เป็นปัจจัยจำกัดอีกต่อไป การควบคุมปัจจัยจำกัดต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงอายุและสภาพแวดล้อมจะทำให้พืชเจริญเติบโตเต็มศักยภาพด้านพันธุกรรมและดำรงชีวิตได้เป็นปกติ)

- จุดอิ่มตัวของแสงและไลต์คอมเพนเซชันพอยต์แตกต่างกันอย่างไร

(แนวคำตอบ) จุดอิ่มตัวของแสงเป็นจุดที่มีค่าความเข้มแสงต่ำ สุดที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงให้สูงกว่าจุดนี้ก็ไม่มีการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนไลต์คอมเพนเซชันพอยต์เป็นจุดที่มีค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 จากการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์)

- ปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยจำกัดของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จุด A

(แนวคำตอบ ความเข้มแสง และอุณหภูมิ)

- ที่จุด A และ จุด B มีปัจจัยจำกัดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

(แนวคำตอบ แตกต่างกัน โดยที่จุด A จะมีทั้งความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัด ส่วนที่จุด B มีอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัด ส่วนความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป เนื่องจากแม้จะเพิ่มความเข้มแสงมากกว่าจุด B อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็ไม่เพิ่มขึ้น ในขณะที่หากเพิ่มอุณหภูมิจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นที่จุด B อุณหภูมิจึงยังคงเป็นปัจจัยจำกัด)

- เพราะเหตุใดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้จึงเพิ่มขึ้นได้

(แนวคำตอบ การที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ยังคงเพิ่มขึ้นได้แสดงว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้อาจเท่ากับหรือสูงกว่า 30°C ซึ่งหากต้องการทราบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของพืชชนิดนี้มีค่าเท่าใด ต้องทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มอุณหภูมิและสังเกตผลของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง)

- ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30°C อย่างไร

(แนวคำตอบ หากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่ยังคงไม่มากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ เส้นกราฟที่ได้อาจจะยังคงมีลักษณะเช่นเดิม แต่ความชันของกราฟในช่วงแรกจะมากขึ้น หากเพิ่มอุณหภูมิจนสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้จนทำให้ส่งผลต่อเอนไซม์รวมทั้งเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเสียหายไป จะทำให้พืชไม่สามารถเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้)

ขั้นที่ 4 การทดลองปฏิบัติจริง (active experimentation)

(ผู้เรียนนำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวงจรการเรียนรู้ใหม่ (acting) เป็นการเรียนรู้จากการลงมือทำ (doing) โดยผู้เรียนจะนำประสบการณ์หรือกฎเกณฑ์ที่สรุปได้ไปใช้ จนทำให้ผู้เรียนเห็นว่ามีแนวคิดใหม่นั้นมีเหตุผลน่าเชื่อถือได้และมีประโยชน์กับผู้เรียน)

1) ครูกล่าวนำเข้ากิจกรรมว่า “ถ้านักเรียนเป็นเกษตรกรที่ต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อเพิ่มศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตของพืชแล้วอยากศึกษาว่าความเข้มแสง อุณหภูมิ

สารสีในใบ และอายุใบ มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ นักเรียนจะออกแบบการทดลองหรือเปลี่ยนแปลงวิธีการที่แตกต่างไปจากเดิมอย่างไร” เพื่อให้นักเรียนจะได้นำแนวคิดที่ตนเองสร้างไปทดลองปฏิบัติหรือประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้

2) ครูแบ่งหัวข้อการทดลอง ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ สารสีในใบ และอายุใบ และให้ทำใบกิจกรรมเรื่อง ออกแบบการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง อาจให้นักเรียนตัวแทนกลุ่มออกนำเสนอหรือเฉลยผลการทำกิจกรรมในภายหลัง มีแนวทางการทดลองดังนี้

- ความเข้มแสง อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดให้ใบพืชได้รับแสงที่มีความเข้มแสงและช่วงแสงสีแตกต่างกัน

- สารสีในใบ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดใช้ใบไม้ที่มีสารสีต่างกัน โดยควรเลือกใบไม้ที่มีหลายสีในหนึ่งใบ แล้วเลือกเจาะแผ่นใบบริเวณที่มีสีแตกต่างกัน เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

- อายุใบ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดใช้ใบไม้ที่อ่อนแก่ต่างกัน

- อุณหภูมิ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดให้ใบพืชได้รับอุณหภูมิต่างกัน โดยถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิตามต้องการตลอดเวลา อาจทำได้โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าที่ต้องการให้ใส่ น้ำแข็งลงไปทีละน้อย ๆ แล้ววัดอุณหภูมิว่าใกล้เคียงกับก่อนการทดลองหรือยัง

- ถ้าต้องการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ชุดการทดลองที่ออกแบบต้องสามารถวัดปริมาตรของ O_2 ที่เกิดขึ้นได้ซึ่งอาจออกแบบได้หลากหลาย

และครูสรุปเพิ่มเติมว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่พืชได้รับมีทั้งปัจจัยภายนอกที่เป็นสภาพแวดล้อม เช่น แสง CO_2 น้ำ อุณหภูมิ และธาตุอาหาร นอกจากนี้โครงสร้างของใบ อายุของใบ ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย ถ้าต้องการเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตของพืชจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ด้วย

8. สื่อการเรียนรู้/แหล่งการเรียนรู้

1) เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2) สื่อนำเสนอรายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

3) ใบกิจกรรม เรื่อง การทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

4) ใบกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

5) ใบกิจกรรม เรื่อง ออกแบบการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

6) หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 3 (สสวท.)

7) สื่อข้อมูลออนไลน์

9. ภาระงาน/ชิ้นงาน

1) ใบกิจกรรม เรื่อง การทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช รายวิชา ชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2) ใบกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

3) ใบกิจกรรม เรื่อง ออกแบบการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

10. การวัดผลและประเมินผลการเรียนรู้

สิ่งที่ต้องการวัดและประเมินผล	วิธีวัด	เครื่องมือวัด	แหล่งข้อมูล	เกณฑ์การประเมิน
ด้านความรู้ (K) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้	- การสังเกตการตอบคำถาม - การตรวจใบกิจกรรม	- ข้อคำถาม - ใบกิจกรรม	ผู้สอน	- นักเรียนตอบคำถามทำกิจกรรมและแบบฝึกหัดได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 - คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียน

สิ่งที่ต้องการวัดและประเมินผล	วิธีวัด	เครื่องมือวัด	แหล่งข้อมูล	เกณฑ์การประเมิน
ด้านทักษะ/กระบวนการ (P) ทดลอง อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการผลิตกระดาษด้วยแสงของพืชได้	- การสังเกตการตอบคำถาม - การตรวจใบกิจกรรม	- ข้อคำถาม - ใบกิจกรรม	ผู้สอน	นักเรียนทำกิจกรรมตอบคำถามและทำใบกิจกรรมได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80
ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A) 1. ความสนใจใฝ่รู้ เข้าเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมและปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย 2. รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น 3. มีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น	- การสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน	- แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรม	ผู้สอน	- ผ่านเกณฑ์การประเมินระดับดีขึ้นไป

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7

เรื่อง ป้ายียบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 การสังเคราะห์ด้วยแสง
รายวิชาชีววิทยา 3 รหัสวิชา ว32241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 3 คาบ (150 นาที)
ผู้สอน นายณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์ วันที่.....เดือน..... พ.ศ.

ผลการจัดการเรียนรู้

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

ลงชื่อ.....ผู้สอน

(นายณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

แบบสังเกตพฤติกรรมนักเรียน
เรื่อง ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

ชื่อนักเรียน.....ชั้น.....
 วัน/เดือน/ปี.....ครั้งที่.....ภาคเรียนที่.....ปีการศึกษา.....

คำชี้แจง การบันทึกให้กาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง

ที่	พฤติกรรม	ระดับการปฏิบัติ			
		เป็นประจำ (3)	บางครั้ง (2)	น้อยครั้ง (1)	ไม่ทำเลย/ ไม่ชัดเจน (0)
1. ความสนใจใฝ่รู้ เข้าเรียน ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมและปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย					
1)	เข้าเรียนตรงเวลา				
2)	ตั้งใจศึกษาหาความรู้				
3)	ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม				
4)	ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย				
2. รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น					
5)	รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น				
6)	ไม่ยึดว่าความคิดเห็นของตนเองถูกต้องผู้เดียว				
3. มีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น					
7)	มีน้ำใจ แบ่งปันความรู้ อุปกรณ์แก่ผู้อื่น				
8)	เป็นมิตรและเข้ากับเพื่อนได้ดี				
9)	ให้ความช่วยเหลือผู้อื่น				

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(นายณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

เกณฑ์การประเมิน

ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การประเมิน
ดีเยี่ยม (3)	ได้คะแนนรวมระหว่าง 21 - 27 คะแนน และไม่มีผลการประเมินข้อใดข้อหนึ่งต่ำกว่า 2 คะแนน
ดี (2)	ได้คะแนนรวมระหว่าง 14 - 20 คะแนน และไม่มีผลการประเมินข้อใดข้อหนึ่งต่ำกว่า 0 คะแนน
ผ่าน (1)	ได้คะแนนรวมระหว่าง 7 - 13 คะแนน และไม่มีผลการประเมินข้อใดข้อหนึ่งต่ำกว่า 0 คะแนน
ไม่ผ่าน (0)	ได้คะแนนรวมระหว่าง 0 - 6 คะแนน

ที่มา: ปรับปรุงจาก สิริมา มิ่งเมือง (2560)

ใบกิจกรรม เรื่อง การทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จุดประสงค์

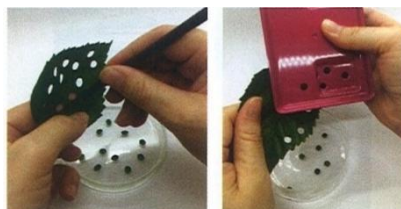
1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. ทดลองและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับปัจจัยต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ใบไม้ที่มีความหนาไม่มาก เช่น ใบอะเมซอน ใบชาใบโพธิ์ เป็นต้น
2. หลอดกาแฟที่แข็ง หรือที่เจาะกระดาษ
3. หลอดฉีดยา ขนาด 20 mL
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องชั่ง
6. ปีกเกอร์ ขนาด 250 mL
7. โคมไฟพร้อมขาตั้งยึด
8. แท่งแก้วคนสาร
9. ไม้บรรทัด
10. สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) ความเข้มข้น 1 %
11. น้ำยาล้างจาน
12. น้ำ

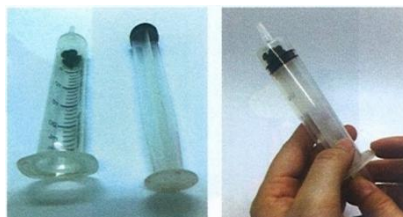
วิธีการทำกิจกรรม

1. หยดน้ำยาล้างจาน 2-3 หยดลงในปีกเกอร์ที่มีสารละลาย NaHCO_3 ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 200 mL และคนเบา ๆ ระวังอย่าให้มีฟอง
2. นำใบไม้มาเจาะด้วยหลอดกาแฟที่แข็ง หรือที่เจาะกระดาษในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับเส้นกลางใบ จนได้เป็นแผ่นกลมเล็ก ๆ จำนวน 50 แผ่น

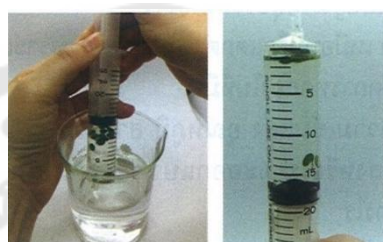


3. นำหลอดฉีดยามา 2 หลอด ดึงก้านหลอดฉีดยาออก นำแผ่นใบไม้กลม ๆ ที่เจาะได้ จำนวน 20 แผ่น ใส่ในหลอดฉีดยาแต่ละหลอด (หลอดที่ 1 และ หลอดที่ 2) โดยให้แผ่นใบอยู่ด้าน

ปลายสุด หรือถ้าให้หลอดกาแฟอาจใช้ปากเป่าแผ่นใบไม้ให้เข้าไปอยู่ด้านปลายสุด แล้วใส่ก้านหลอดฉีดยาทั้ง 2 อัน ให้เหมือนเดิม ระวังอย่าให้โดนแผ่นใบไม้



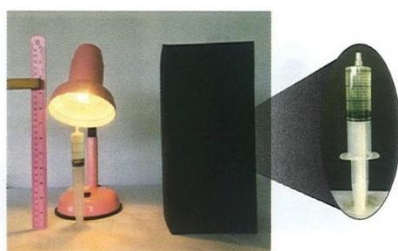
4. นำหลอดฉีดยาที่มีแผ่นใบไม้ทั้ง 2 หลอด มาดูดสารละลาย NaHCO_3 ปริมาตร 15 mL จากปิกเกอร์



5. ไล่อากาศออกจากแผ่นใบไม้ที่อยู่ในหลอดฉีดยาแต่ละหลอดโดยหายใจหลอดฉีดยาขึ้น ค่อย ๆ ไล่อากาศด้วยการดันก้านหลอดฉีดยาเข้าไปเบา ๆ ใช้นิ้วมือปิดที่ปลายหลอดฉีดยาให้แน่น จากนั้นดึงก้านหลอดฉีดยาแล้วดันกลับเข้าไปอีกครั้งเพื่อไล่อากาศออก จะสังเกตเห็นฟองอากาศถูกปล่อยออกจากแผ่นใบไม้ แผ่นใบไม้บางแผ่นจะเริ่มจมลง ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จนแผ่นใบไม้ทุกแผ่นจมลงสู่ด้านล่าง



6. นำหลอดฉีดยาหลอดที่ 1 ที่มีแผ่นใบไม้ที่จมอยู่ วางไว้ใต้โคมไฟโดยให้หลอดไฟห่างจากพื้น 20 cm และนำหลอดฉีดยาหลอดที่ 2 ที่มีแผ่นใบไม้ที่จมอยู่ วางไว้ในที่มืด สังเกตที่ผิวของแผ่นใบไม้ และบันทึกจำนวนแผ่นใบไม้ที่ลอยขึ้นมาในแต่ละหลอดทุก 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วบันทึกผล



หลอดที่ 1 หลอดที่ 2

ผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างที่ 1 ไป.....

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาที (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										

ตัวอย่างที่ 2 ไป.....

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาที (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										

ตัวอย่างที่ 3 ไป.....

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาที (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										

คำถามท้ายกิจกรรม1. การใช้สารละลาย NaHCO_3 มีวัตถุประสงค์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

2. ผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

.....

3. เพราะเหตุใดจึงต้องมีชุดการทดลองในที่มืด

.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 3*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ใบกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ความเข้มแสงมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

.....

.....

.....

.....

2. ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

.....

.....

.....

.....

2. อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

.....

.....

.....

.....

3. ปริมาณน้ำมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

.....

.....

.....

5. ธาตุอาหารมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

.....

.....

.....

ใบกิจกรรม เรื่อง ออกแบบการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต้องการทดลอง คือ

.....

2. สมมติฐานการทดลอง

.....

.....

.....

3. กำหนดตัวแปร

3.1 ตัวแปรต้น คือ

.....

3.2 ตัวแปรตาม คือ

.....

3.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่

.....

.....

4. วัสดุ/อุปกรณ์ และสารเคมี (เขียนเป็นข้อ ๆ)

.....

.....

.....

.....

.....

5. วิธีการทดลอง (เขียนเป็นข้อ ๆ หรือแผนผังการทดลอง (flow chart))

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แนวคำตอบใบกิจกรรม เรื่อง การทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1 ใบ อะเมซอน

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทีก (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	5	3	3	2	2	1	1	-	-
2	1	1	4	5	3	2	1	2	1	-
3	2	4	3	4	2	2	1	1	1	-

ตัวอย่างที่ 2 ใบ ธรรมรักษา

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทีก (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	2	4	5	4	3	1	1	-	-
2	2	2	4	4	3	2	1	1	1	-
3	2	3	4	3	2	2	2	2	-	-

ตัวอย่างที่ 3 ใบ จิง

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทีก (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	2	4	5	3	2	1	1	-	-
2	2	3	3	3	4	1	1	1	1	1
3	2	3	4	4	2	2	2	-	1	-

คำถามท้ายกิจกรรม

1. การใช้สารละลาย NaHCO_3 มีวัตถุประสงค์อะไร

แนวคำตอบ เพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอนที่แผ่นใบไม่นำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

2. ผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ต่างกัน คือ ชุดที่วางไว้ในที่มีแสงจะมีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและปล่อยแก๊สออกจากผิวใบ ทำให้แผ่นใบไม่ลอยขึ้นผิวน้ำ ส่วนชุดที่วางในที่มืดในเวลาเท่ากันจะไม่มีฟองแก๊ส

เกาะที่ ผิวใบและใบไม้จมอยู่ด้านล่างดังเดิม เพราะชุดที่วางไว้ในที่มีแสงสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จึงได้ O_2 ที่ปล่อยออกมาจากใบ แต่ชุดที่วางในที่มีมืดไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จึงไม่มี O_2 ปล่อยออกมาจากใบ)

3. เพราะเหตุใดจึงต้องมีชุดการทดลองในที่มีมืด

แนวคำตอบ ชุดการทดลองในที่มีมืดเป็นชุดที่เปรียบเทียบกับชุดที่มีแสง เพื่อสรุปว่าแสงจำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ทั้ง 2 ชุด ยังมีการใช้ O_2 ในการหายใจระดับเซลล์และได้ CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เหมือนกัน



แนวคำตอบใบกิจกรรม เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ความเข้มแสงมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point)

ในขณะที่พืชมีการตรึง CO_2 พืชก็มีการหายใจระดับเซลล์และปล่อย CO_2 โดยในที่มืดจะพบว่า อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเป็นลบเนื่องจาก CO_2 ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่า CO_2 ที่ปล่อยจากการหายใจระดับเซลล์ และเมื่อลดความเข้มแสงจนกระทั่งอัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยแสง หรือไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ (light Compensation point)

2. ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกันจนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide saturation point)

เมื่อลดความเข้มข้นของ CO_2 จนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 ของการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ (carbon dioxide compensation point)

3. อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

แนวคำตอบ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชประมาณ 10-30 องศาเซลเซียส เพราะเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพไม่สามารถทำงานได้ หรืออุณหภูมิ ต่ำเกินไปก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลงได้เช่นกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งการหายใจระดับเซลล์และโฟโตเรสไพเรชันจะเพิ่มขึ้น ทำให้การตรึง CO_2 สุทธิลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลทำให้เยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านลดลง

4. ปริมาณน้ำมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อพืชเริ่มขาดน้ำจะทำให้รูปากใบแคบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งส่งผลให้ CO_2 ในบรรยากาศ แพร่เข้าสู่ใบได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง นอกจากนี้การขาดน้ำทำให้รูปากใบแคบลงจนปากใบปิด มีผลทำให้การคายน้ำลดลง นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในใบ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงอีกด้วย

5. ธาตุอาหารมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

แนวคำตอบ พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิด ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของโคแฟกเตอร์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ต้องใช้เอนไซม์ ธาตุอาหารอะไรบ้างที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ธาตุแมกนีเซียมและไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ส่วนธาตุเหล็กจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ พืชที่ขาดธาตุเหล่านี้จะมีอาการใบเหลืองซีดที่เรียกว่า คลอโรซิส (chlorosis) ส่วนธาตุแมงกานีสและคลอรีนจำเป็นต่อการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยาแสง

2. แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

การพัฒนา มโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน
ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลัม
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อ – นามสกุล..... ชั้น ลำดับที่

คำชี้แจง

1. แบบทดสอบวัดมโนคติเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นแบบทดสอบวัดมโนคติเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยเป็นแบบทดสอบ วินิจฉัยตัวเลือกสองลำดับขั้น (two-tier diagnostic test) ประกอบด้วยแบบทดสอบปรนัยชนิด เลือกตอบ จำนวน 5 ตัวเลือก และให้เหตุผลในการเลือกตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยในหนึ่งข้อจะมี อยู่ 2 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 จะเป็นข้อคำถามและมีคำตอบเป็นตัวเลือก 5 ตัวเลือก

ส่วนที่ 2 เป็นเหตุผลที่เลือกตอบในส่วนที่ 1 ว่าทำไมถึงเลือกตอบตัวเลือกดังกล่าว

ซึ่งส่วนที่ 2 จะเป็นคำตอบปลายเปิดที่ให้เติมเหตุผล

2. มโนคติในแบบทดสอบชุดนี้มี 7 มโนคติ ได้แก่

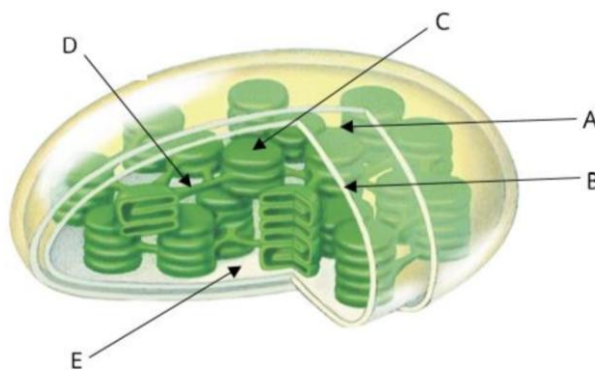
- 1) โครงสร้างของคลอโรพลาสต์
- 2) พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง
- 3) ปฏิกิริยาแสง
- 4) ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) โฟโตเรสไพเรชัน
- 6) การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 7) ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

3. คำตอบของนักเรียนไม่มีผลต่อคะแนนในชั้นเรียน แต่จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ขอให้นักเรียนเขียนตอบตามความเข้าใจของนักเรียนโดยละเอียด

4. เวลาที่ใช้ในการทำ 50 นาที

มโนมติที่ 1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ (ข้อที่ 1 - 2)

1. จากภาพบริเวณที่เกิดการสร้างผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้ในปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon fixation reaction) และปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นบริเวณใด ตามลำดับ



1. A และ D 2. B และ E 3. C และ E 4. C และ D 5. E และ C

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

2. สีม่วงของดอกกะหล่ำม่วง สีส้มของแครอท และสีเหลืองของฟักทองที่นักเรียนเห็นเกิดจากโครงสร้างใดของคลอโรพลาสต์ (chloroplast)

1. สโตรมา (stroma)
2. เยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane)
3. สโตรมาลาเมลลา (stroma lamella)
4. ช่องว่างภายในเยื่อไทลาคอยด์ (lumen)
5. เยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane)

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

มโนคติที่ 2 พลังงานแสงและสารสีในปฏิกิริยาแสง (ข้อที่ 3 - 5)

3. จากสิ่งที่กำหนดให้ต่อไปนี้ ข้อใดเป็นสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องกับบทบาทของ “พลังงานแสงอาทิตย์”

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

1. การสร้างพลังงาน
2. การแตกตัวของน้ำ
3. การเสียอิเล็กตรอน
4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
5. กระตุ้นการทำงานของสารสี

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

4. ในช่วงฤดูใบไม้ร่วง สีของใบไม้บางชนิดจะเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีแดง ส้ม เหลือง หรือน้ำตาล นักเรียนคิดว่าการเปลี่ยนสีของใบไม้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชอย่างไร

1. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ตามปกติ
2. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แต่มากกว่าปกติ
3. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แต่น้อยกว่าปกติ
4. ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แต่จะเจริญเติบโตได้ในระยะหนึ่ง
5. ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และจะหยุดการเจริญเติบโตได้ทันที

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

5. ข้อใด ไม่ถูกต้อง เกี่ยวกับสารสี (pigment)

1. แซนโทฟิลล์เป็นสารประกอบประเภทลิพิด พบที่บริเวณเยื่อไทลาคอยด์ และมีสีเหลือง
2. สาหร่ายสีแดง (rhodophyta) สามารถพบสารสีชนิดคลอโรฟิลล์ เอ แคโรทีนอยด์ และไฟโคอีทรีน
3. คลอโรฟิลล์ เอ และบี พบในพืชและสาหร่ายทุกชนิด ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรีย
4. แคโรทีนอยด์พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ พบอยู่ใน antenna complex ชั้นนอกเท่านั้น
5. คลอโรฟิลล์ เอ พบในพืชและสาหร่าย รวมทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นองค์ประกอบใน reaction center

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

มโนมติที่ 3 ปฏิกริยาแสง (ข้อที่ 6 - 9)

6. ในขั้นปฏิกิริยาแสง (light reaction) ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นจะประกอบด้วยศูนย์กลางรับพลังงานแสง 2 ระบบ คือ ระบบแสง I (Photosystem I) และระบบแสง II (Photosystem II) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ออกมาเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon fixation) ต่อไป แต่ถ้าให้แสงเฉพาะระบบแสง I นักเรียนคิดว่าจะมีสารใดที่เกิดขึ้น

- | | | |
|----------|-------------------|-----------|
| 1. O_2 | 2. ATP | 3. CO_2 |
| 4. NADPH | 5. $C_6H_{12}O_6$ | |

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

7. ในขั้นปฏิกิริยาแสงของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จะทำให้เกิดแก๊สออกซิเจน (O_2) ออกมา
นักเรียนคิดว่าแก๊สออกซิเจนได้มาจากข้อใด

1. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร
2. ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
3. การแยกสลายโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานแสง
4. การแยกสลายโมเลกุลของ CO_2 ด้วยพลังงานแสง
5. การลำเลียงโปรตอน (H^+) จากช่องว่างในไทลาคอยด์สู่สโตรมา

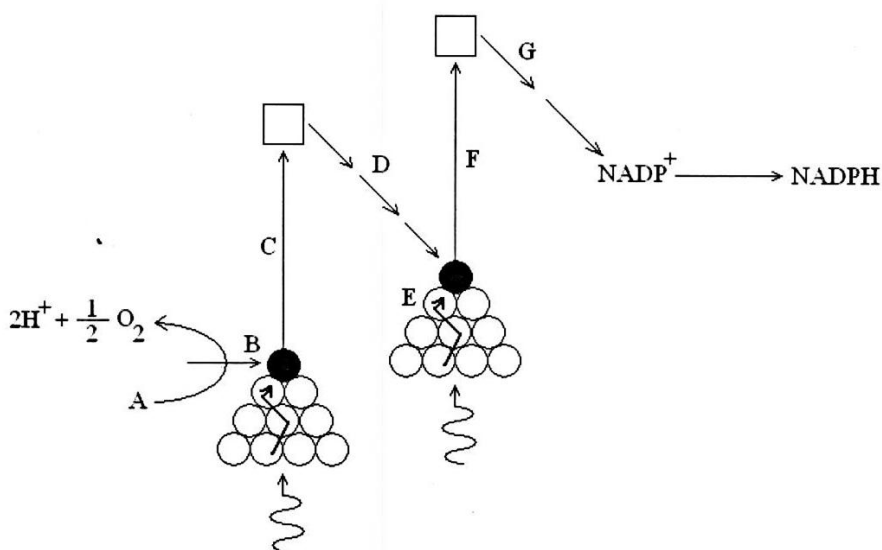
ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....
.....
.....
.....
.....

8. ข้อใดเป็นบทบาทของน้ำ (H_2O) โดยตรงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ดูดกลืนแสง
2. สร้างคาร์โบไฮเดรต
3. แยกตัวให้อิเล็กตรอน
4. ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
5. ถ่ายทอดพลังงานแสงให้สารสี

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....
.....
.....
.....
.....

9. จากภาพแสดงการถ่ายทอดอิเล็กตรอนดังต่อไปนี้



ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

1. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนดังภาพผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้คือ $\text{NADPH} + \text{H}^+$, O_2 และ ATP
2. B คือ Photosystem II, E คือ Photosystem I โดย C และ F เป็นขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี (photo-oxidation)
3. อิเล็กตรอนใน NADPH ที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนใน H_2O โดยเกิดจากปฏิกิริยา $\text{NADP}^+ + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NADPH} + \text{H}^+$
4. การสร้าง ATP เกี่ยวข้องกับขั้นตอน D คือการถ่ายทอดอิเล็กตรอนผ่าน Cytochrome $\text{b}_6\text{-f}$ complex และมีการปั๊มโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ช่องว่างในไทลาคอยด์
5. กลุ่มสารสีที่เขียนแทนด้วย $\bigcirc$ คือสารสีที่มากอยู่รวมกันอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ซึ่งทำหน้าที่เก็บพลังงานแสงและอิเล็กตรอนให้ $\bullet$

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

มโนมติที่ 4 ปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ข้อที่ 10 - 13)

10. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้อใด

1. นำไปสร้างน้ำตาล
2. นำไปสร้างน้ำตาลและแก๊ส O_2
3. นำไปสลายเปลี่ยนเป็นแก๊ส O_2 ออกมา
4. เป็นแหล่งพลังงานของการสังเคราะห์ด้วยแสง
5. ให้อิเล็กตรอนกับระบบแสงเพื่อสร้าง NADPH

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

11. ในการเกิดปฏิบัติการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon fixation) ถ้าเอนไซม์รูบิสโก (RuBisCo) ถูกยับยั้ง ปฏิบัติการเคมีในข้อใดจะเกิดขึ้นได้ช้าลงหรือหยุดชะงักเป็นอันดับแรก

1. $G3P \rightarrow Glucose$
2. $G3P \rightarrow RuBP$
3. $PGA \rightarrow G3P$
4. $PGA \rightarrow RuBP$
5. $RuBP \rightarrow PGA$

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

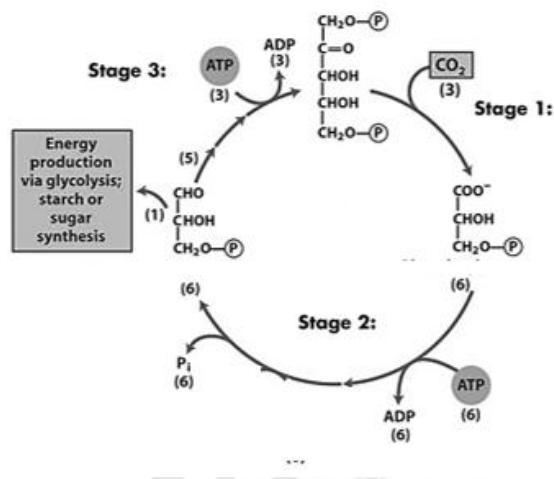
.....

.....

.....

.....

12. จากภาพปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หากขาด $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง 3-Phosphoglycerate (PGA) เป็น Glyceraldehydes-3-Phosphate (G3P) จะส่งผลต่อปฏิกิริยาในขั้นตอน (stage) ใดและพืชเป็นอย่างไร ตามลำดับ



1. Stage 1, พืชสร้างน้ำตาลได้เท่าเดิม
2. Stage 2, พืชไม่มีการเจริญเติบโต
3. Stage 2, พืชมีการเจริญเติบโตลดลง
4. Stage 3, พืชสร้างน้ำตาลได้น้อยลง
5. Stage 3, พืชไม่สามารถสร้างน้ำตาลได้

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

13. ข้อใดถูกต้อง

1. การตรึง CO_2 จำนวน 3 โมเลกุล จะต้องใช้ 6NADPH ในขั้นตอนรีดักชัน
2. การตรึง CO_2 จำนวน 6 โมเลกุล จะต้องใช้ 12ATP ในขั้นตอนรีเจเนอเรชัน
3. การตรึง CO_2 จำนวน 12 โมเลกุล จะสามารถนำไปสร้างกลูโคสได้ 3 โมเลกุล
4. การตรึง CO_2 จำนวน 6 โมเลกุล จะต้องใช้ 12RuBP ในขั้นตอนคาร์บอกซิเลชัน
5. การตรึง CO_2 จำนวน 8 โมเลกุล จะต้องใช้อิเล็กตรอนในขั้นตอนรีดักชันจำนวน 16 อิเล็กตรอน

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

มโนมติที่ 5 โฟโตเรสไพเรชัน (ข้อที่ 14 - 15)

14. ข้อใดกล่าวเกี่ยวกับโฟโตเรสไพเรชัน (photorespiration) ไม่ถูกต้อง

1. เอนไซม์รูบิสโกมีบริเวณเร่งซึ่งสามารถจับ O_2 ได้ทำให้เกิดโฟโตเรสไพเรชัน
2. พืชสามารถตรึง O_2 แทนการตรึง CO_2 ได้เมื่อมีการสะสมของ O_2 มากขึ้นภายในใบ
3. จำนวน PGA ที่ได้จากโฟโตเรสไพเรชันจะได้เท่ากับการที่ RuBP ตรึง CO_2 1 โมเลกุล
4. โฟโตเรสไพเรชันต่างจากการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เป็นการตรึง O_2 และปล่อย CO_2 ออกมา
5. PG (phosphoglycolate) จะถูกเปลี่ยนแปลงและลำเลียงออกจากคลอโรพลาสต์ไปยังเพอร์อกซิโซมและไมโทคอนเดรีย

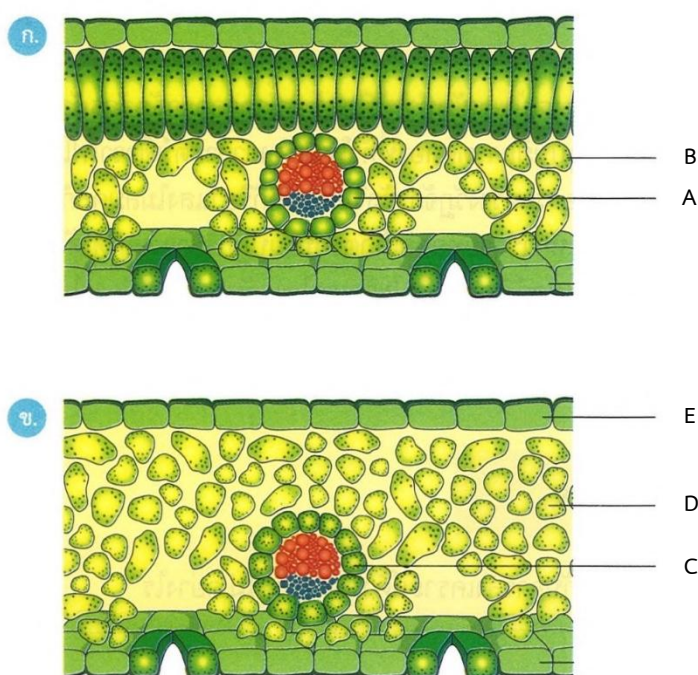
ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

15. จากภาพเซลล์ในข้อใดที่โอกาสเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงสุด



1. A 2. B 3. C 4. D 5. E

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

มโนมติที่ 6 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ข้อที่ 16 - 18)

16. พืช C_3 และพืช C_4 เหมือนกันในเรื่องใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

- กำหนดให้
- | | |
|-------------------------------------|---|
| A. สารตั้งต้นในปฏิกิริยาสร้างน้ำตาล | B. ช่วงเวลาที่เกิดการตรึงคาร์บอนโดย PEP |
| C. แหล่งสร้าง G3P | D. จำนวนครั้งของการตรึง CO_2 |
| E. การเกิดโฟโตเรสไพเรชัน | F. เวลาที่เกิดวัฏจักรคัลวิน |

1. B และ C 2. C และ D 3. A และ F 4. E และ F 5. A, B และ C

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

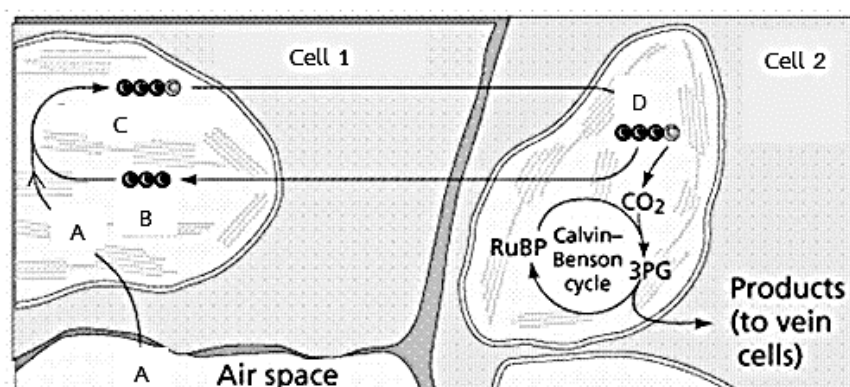
.....

.....

.....

.....

17. จากแผนภาพแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ด้วยแสงข้างต้น ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



- สารตั้งต้นในการตรึง CO_2 ครั้งแรกของพืชชนิดนี้ คือ PEP
- เซลล์ 1 คือ mesophyll และเซลล์ 2 คือ bundle sheath
- สาร B คือ phosphoenolpyruvate และสาร D คือ malic acid
- เอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา $A + B \rightarrow C$ คือ RuBP carboxylase
- ขั้นตอนการสังเคราะห์ด้วยแสงดังแผนภาพพบในข้าวโพด บานไม่รู้โรย และอ้อย

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

.....

.....

.....

.....

18. พืชทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon fixation) ในเวลากลางวัน เนื่องจากปากใบจะเปิดในเวลากลางวันเพื่อรับ CO_2 เข้ามา แต่สำหรับพืชที่ขึ้นในทะเลทรายนั้น ปากใบจะปิดในเวลากลางวัน นักเรียนคิดว่าจะเกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์หรือไม่และประสิทธิภาพในการตรึงเป็นอย่างไร

1. มีการตรึง CO_2 และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงเหมือนพืชทั่วไป
2. มีการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงด้วยสูงกว่าพืชทั่วไป
3. มีการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าพืชทั่วไป
4. ไม่เกิดการตรึง CO_2 แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนพืชทั่วไป
5. ไม่เกิดการตรึง CO_2 ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าพืชทั่วไป

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

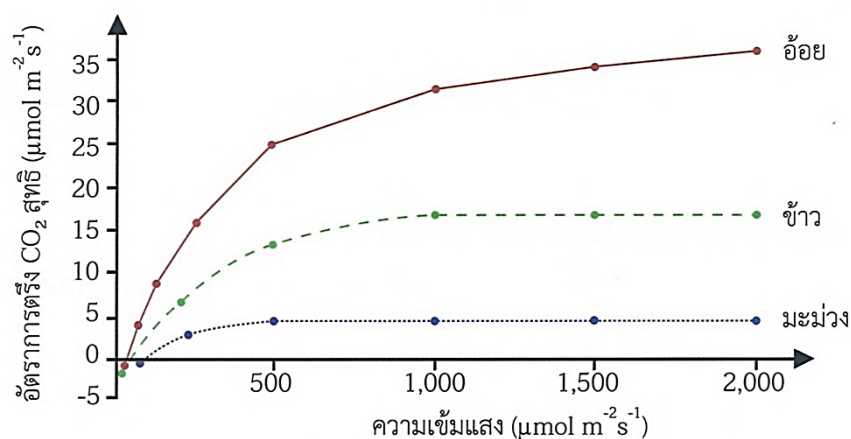
.....

.....

.....

มโนมติที่ 7 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง (ข้อที่ 19 - 20)

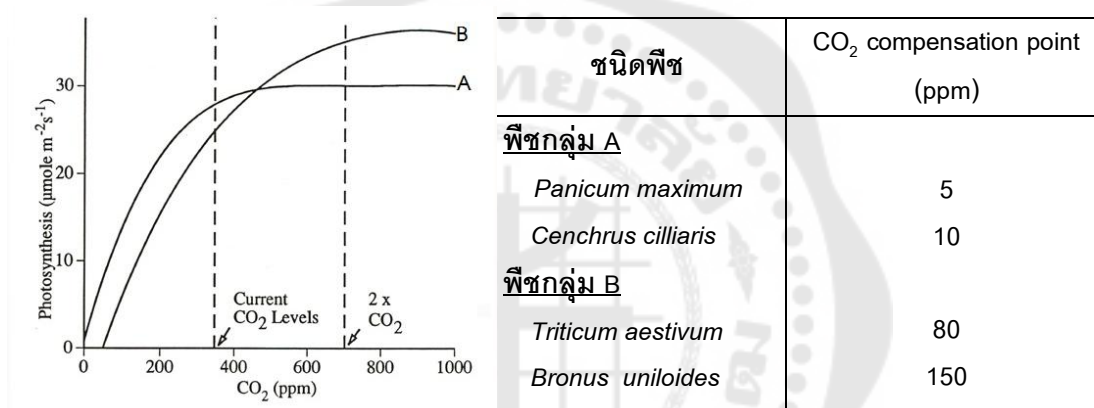
19. จากกราฟดังนี้ ข้อใดเป็นไม่เป็นจริงเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช



1. ในที่ที่มีความเข้มแสงสูง อ้อยจะมีอัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุด
2. ข้าวมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีความเข้มแสง $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
3. มะม่วงจะมีอัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุดที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากกว่า $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
4. อ้อยมี light saturation point ต่ำกว่าข้าว แต่มี light compensation point สูงกว่าข้าว
5. ในช่วงความเข้มแสง $0 - 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ แสงเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของมะม่วง

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

20. จากผลการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และค่า CO_2 compensation point ของพืช ผลปรากฏแตกต่างกัน สรุปข้อมูลบางส่วนดังตารางและค่าเฉลี่ยดังกราฟต่อไปนี้



ข้อใดสรุปลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชได้ถูกต้อง

1. พืชกลุ่ม A เป็นพืช C_3 เพราะมีค่า CO_2 compensation point ต่ำกว่าพืชกลุ่ม B
2. พืชกลุ่ม B มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงเมื่อความเข้มข้น CO_2 ลดต่ำลง
3. พืชกลุ่ม B มีกายวิภาคของใบแบบพืช C_4 (Kranz cell type) และเกิด Hatch-Slack pathway
4. ความเข้มข้นของ CO_2 ตั้งแต่ 400 ppm ขึ้นไป พบว่าอัตราการตรึง CO_2 สูงของพืชกลุ่ม A สูงกว่า B
5. พืชกลุ่ม B มีจุดอิ่มตัวของ CO_2 (CO_2 saturation point) สูงกว่า และมีประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ได้ต่ำกว่าพืชกลุ่ม A เมื่ออุณหภูมิสูง

ตอบข้อ.....เหตุผลเพราะ.....

3. แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน
ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วัตถุประสงค์

แบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) ใช้สำหรับการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการตอบคำถามในแบบทดสอบวัดมโนคติ เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีหลังเรียน

ผู้สัมภาษณ์..... ผู้ให้สัมภาษณ์.....

สัมภาษณ์วันที่..... สถานที่.....

ชั้นนำ

1. สนทนาสร้างความคุ้นเคย และขออนุญาตเริ่มการสัมภาษณ์โดยให้แสดงข้อคิดเห็นและข้อเท็จจริงอย่างอิสระ
2. อธิบายวัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์
3. ขอบันทึกเทป และอธิบายวิธีการนำข้อมูลจากการบันทึกเทปไปใช้ในการวิจัย

ขั้นสัมภาษณ์

ผู้วิจัยเลือกใช้คำถามต่อไปนี้กับผู้ให้ข้อมูลหลัก คือ นักเรียน โดยคำถามดังกล่าวจะถูกปรับให้เหมาะสมกับผู้ให้สัมภาษณ์ ทั้งนี้คำถามดังกล่าวจะเป็นคำถามหลักที่ผู้วิจัยสามารถนำไปขยายเป็นคำถามย่อยได้ตามความเหมาะสม

ข้อคำถามเพื่อใช้ศึกษาการพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร และมีกี่ขั้นตอนอย่างไร
2. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแต่ละขั้นตอนเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด (กลางวัน หรือ กลางคืน) เพราะเหตุใด
3. คลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร
4. พลังงานแสงเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

5. สารสีมีชนิดใดบ้าง และมีบทบาทหน้าที่หรือทำงานอย่างไร
 6. คลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสงสีเขียว แต่พืชยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงแสงสีเขียว เพราะเหตุใด
 7. ปฏิกริยาแสงคืออะไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง
 8. แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้อย่างไร
 9. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรกับแบบไม่เป็นวัฏจักรแตกต่างกันอย่างไร
 10. ปฏิกริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คืออะไร
 11. วัฏจักรคัลวินมีขั้นตอนอย่างไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง
 12. โฟโตเรสไพเรชันคืออะไร
 13. โครงสร้างภายในใบของพืช C_3 กับพืช C_4 มีโครงสร้างเหมือนหรือต่างกันอย่างไร
 14. พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันอย่างไร
 15. พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM พืชกลุ่มใดเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงสุด เพราะเหตุใด
 16. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แก่อะไรบ้าง และส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร
-

4. แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
 การพัฒนามโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอน
 ของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีบ
 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

คำชี้แจง

1. แบบสำรวจนี้เป็นแบบสำรวจความพึงพอใจสำหรับนักเรียน เพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีบ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2. แบบสำรวจฉบับนี้ประกอบด้วย 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสำรวจ

ตอนที่ 2 แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีบ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตอนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสำรวจ

เพศ ☐ ชาย

☐ หญิง

ตอนที่ 2 แบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียน โดยมีระดับของความคิดเห็นดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก

ระดับ 3 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

รายการประเมินประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ดังนี้

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับการประเมิน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1. ด้านเนื้อหา							
1	เนื้อหาที่สอนมีความครบถ้วนสมบูรณ์และครอบคลุมกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้						
2	เนื้อหามีความน่าสนใจและลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยาก						
3	เนื้อหาที่สอนมีความเหมาะสมกับความสามารถและระดับของผู้เรียน						
4	เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาในการจัดการเรียนรู้						

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับการประเมิน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
2. ด้านกิจกรรมการเรียนรู้							
5	แจ้งผลการเรียนรู้/จุดประสงค์การเรียนรู้ให้ผู้เรียนทราบอย่างชัดเจน						
6	กิจกรรมการเรียนรู้สนุกและน่าสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนตื่นตัว						
7	ผู้สอนมีการใช้คำถามซักถามผู้เรียนบ่อย ๆ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถาม						
8	กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมผู้เรียนให้ฝึกปฏิบัติจริง มีการจัดการและการแก้ปัญหา						
9	ผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการคิด วิเคราะห์ และ คิดสร้างสรรค์						
10	ผู้เรียนได้ทำงานร่วมกันทั้งเป็นกลุ่มและรายบุคคล						
11	ผู้เรียนได้แสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ						
12	ผู้สอนมีการเสริมแรงให้นักเรียนที่ร่วมกิจกรรมการเรียนรู้						
13	ผู้สอนมีความตั้งใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้						
14	กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมสำหรับเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้เกิดการพัฒนามโนทัศน์ได้						

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับการประเมิน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
3. ด้านสื่อการจัดการเรียนรู้							
15	ผู้สอนใช้สื่อการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและหลากหลาย						
16	สื่อการจัดการเรียนรู้มีความน่าสนใจและทันสมัย						
17	สื่อการจัดการเรียนรู้ช่วยให้เข้าใจได้ง่าย						
4. ด้านการวัดและประเมินผล							
18	ผู้สอนมีการประเมินผลการเรียนด้วยวิธีการที่หลากหลายและเหมาะสม						
19	ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการวัดและประเมินผล						
20	แบบทดสอบวัดมโนคติมีความเหมาะสมกับผู้เรียน						

ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก จ

ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

**ผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้
โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้จาก
ประสบการณ์ของคอลลี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย**

ตาราง 13 ผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้

ข้อที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	แปลผล
		1	2	3	4	5				
1	แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบสำคัญครบถ้วน	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
2	จุดประสงค์การเรียนรู้ (K, P, A) และเนื้อหาสอดคล้องกับสาระชีววิทยาและผลการเรียนรู้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
3	จุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหา มีความเหมาะสมกับเวลาและระดับของผู้เรียน	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
4	สาระการเรียนรู้สอดคล้องกับสาระชีววิทยาและผลการเรียนรู้ มีความต่อเนื่องและถูกต้องครบถ้วน	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
5	กระบวนการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์และสาระการเรียนรู้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
6	กระบวนการจัดการเรียนรู้มีความหลากหลาย และเหมาะสมกับเนื้อหาและศักยภาพผู้เรียน	5	5	5	4	5	24	4.80	0.40	มากที่สุด
7	กระบวนการจัดการเรียนรู้เขียนเป็นลำดับขั้นตอน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสัน (2003) ร่วมกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลี	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด

ตาราง 13 (ต่อ)

ข้อที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	แปลผล
		1	2	3	4	5				
8	กระบวนการจัดการเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม ในการเรียน คิดเป็น ทำเป็น ใช้ทักษะกระบวนการกลุ่ม และ/หรือเทคโนโลยีในการ จัดการเรียนรู้	5	4	5	4	5	23	4.60	0.49	มากที่สุด
9	สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ เนื้อหาและกระบวนการ จัดการเรียนรู้ เหมาะสมกับ เนื้อหาและสามารถใช้แก้ไข ปัญหาผู้เรียนได้	5	4	5	5	4	23	4.60	0.49	มากที่สุด
10	เครื่องมือการวัดและการ ประเมินผล การเรียนรู้ สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
11	การวัดและประเมินผลการ เรียนรู้มีความหลากหลาย ตามศักยภาพผู้เรียน	5	5	4	4	5	23	4.60	0.49	มากที่สุด
12	คุณภาพของแผนการจัดการ เรียนรู้โดยภาพรวม สามารถ นำไปใช้ได้จริงและทำให้เกิด การพัฒนาในมิติ เรื่อง การ สังเคราะห์ด้วยแสงได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม								4.88		มากที่สุด

**ผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้
และความถูกต้องเชิงเนื้อหาของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแบบทดสอบวัดมโนคติ
เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง**

ตาราง 14 ผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ข้อที่	จุดประสงค์การเรียนรู้ เชิงพฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการ ประเมิน
		1	2	3	4	5				
1	อธิบายความสัมพันธ์ของ โครงสร้างและหน้าที่ของคลอ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
2	โรพลาสต์ได้	5	4	5	4	5	23	4.60	0.49	ใช้ได้
3	1. อธิบายชนิดและหน้าที่ของ สารสีได้	4	5	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
4	2. อธิบายความสัมพันธ์ของ พลังงานแสงและสารสีกับ	5	4	4	5	5	23	4.60	0.49	ใช้ได้
5	กระบวนการสังเคราะห์ด้วย แสงได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
6	อธิบายและเปรียบเทียบ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
7	ความแตกต่างระหว่างการ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
8	ถ่ายทออิเล็กตรอนแบบไม่ เป็นวัฏจักรและการถ่ายทอ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
9	อิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
10	อธิบายการเกิดปฏิกิริยาการ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
11	ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
12	ของพืชในกระบวนการ	4	4	4	4	5	21	4.20	0.40	ใช้ได้
13	สังเคราะห์ด้วยแสงได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
14	1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง โฟโตเรสไพเรชันกับกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
15	2. เปรียบเทียบความแตกต่าง ของโฟโตเรสไพเรชันกับ การหายใจได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้

ตาราง 14 (ต่อ)

ข้อที่	จุดประสงค์การเรียนรู้ เชิงพฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการ ประเมิน
		1	2	3	4	5				
16	อธิบายและเปรียบเทียบ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
17	ความเหมือนและความ แตกต่างของการสังเคราะห์	5	4	4	5	5	23	4.60	0.49	ใช้ได้
18	ด้วยแสง ของพืช C_3 , C_4 และ CAM ได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
19	อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง อิทธิพลของปัจจัยบาง	5	3	4	4	4	20	4.00	0.63	ใช้ได้
20	ประการที่มีผลต่อการ สังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
ค่าเฉลี่ยรวม								4.80		ใช้ได้

**ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความยากง่าย (p) ค่าดัชนีอำนาจจำแนก (r)
และค่าความเชื่อมั่น (R) ของแบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง
หลังการนำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (try out)**

ตาราง 15 ค่าดัชนีความยากง่าย (p) ค่าดัชนีอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น (R) ของ
แบบทดสอบวัดมโนคติ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ข้อที่	ความยากง่าย (p)	อำนาจจำแนก (r)	ผลการประเมิน
1	0.70	0.33	ใช้ได้
2	0.62	0.63	ใช้ได้
3	0.57	0.33	ใช้ได้
4	0.55	0.37	ใช้ได้
5	0.68	0.43	ใช้ได้
6	0.65	0.63	ใช้ได้
7	0.68	0.37	ใช้ได้
8	0.68	0.43	ใช้ได้
9	0.60	0.60	ใช้ได้
10	0.62	0.57	ใช้ได้
11	0.62	0.23	ใช้ได้
12	0.60	0.40	ใช้ได้
13	0.63	0.40	ใช้ได้
14	0.67	0.47	ใช้ได้
15	0.68	0.37	ใช้ได้
16	0.62	0.37	ใช้ได้
17	0.73	0.40	ใช้ได้
18	0.62	0.43	ใช้ได้
19	0.52	0.43	ใช้ได้
20	0.38	0.43	ใช้ได้
ค่าเฉลี่ย	0.62	0.43	ใช้ได้
ความเชื่อมั่น (R)	0.85		ผ่านเกณฑ์

ผลการประเมินความตรงของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแบบสัมภาษณ์นักเรียน
เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ตาราง 16 ผลการประเมินความตรงของแบบสัมภาษณ์นักเรียน เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ข้อที่	คำถาม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5				
1	การสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร และมีกี่ขั้นตอนอย่างไร	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
2	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแต่ละขั้นตอนเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด (กลางวัน หรือกลางคืน) เพราะเหตุใด	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
3	คลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
4	พลังงานแสงเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร	4	5	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
5	สารสีมีชนิดใดบ้าง และมีบทบาทหน้าที่หรือทำงานอย่างไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
6	คลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสงสีเขียว แต่พืชยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงแสงสีเขียว เพราะเหตุใด	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
7	ปฏิกิริยาแสงคืออะไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้

ตาราง 16 (ต่อ)

ข้อที่	คำถาม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5				
8	แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้อย่างไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
9	การถ่ายทอดอิเล็กทรอนิกส์แบบเป็นวัฏจักรกับแบบไม่เป็นวัฏจักรแตกต่างกันอย่างไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
10	ปฏิกิริยาการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คืออะไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
11	วัฏจักรคัลวินมีขั้นตอนอย่างไร และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอะไรบ้าง	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
12	โฟโตเรสไพเรชันคืออะไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
13	โครงสร้างภายในใบของพืช C_3 กับพืช C_4 มีโครงสร้างเหมือนหรือต่างกันอย่างไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
14	พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันอย่างไร	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
15	พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM พืชกลุ่มใดเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงสุด เพราะเหตุใด	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
16	ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แก่อะไรบ้าง และส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร	5	4	5	4	5	23	4.60	0.49	ใช้ได้
ค่าเฉลี่ยรวม								4.94		ใช้ได้

**ผลการประเมินความตรงของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อแบบสำรวจความพึงพอใจ
ต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง**

ตาราง 17 ผลการประเมินความตรงของแบบสำรวจความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง

ข้อที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5				
1	เนื้อหาที่สอนมีความถูกต้องครบถ้วน และครอบคลุมกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
2	เนื้อหาที่น่าสนใจและลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยาก	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
3	เนื้อหาที่สอนมีความเหมาะสมกับความสามารถและระดับของผู้เรียน	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
4	เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาในการจัดการเรียนรู้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
5	แจ้งผลการเรียนรู้/จุดประสงค์การเรียนรู้ให้ผู้เรียนทราบอย่างชัดเจน	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
6	กิจกรรมการเรียนรู้สนุกและน่าสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนตื่นตัว	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
7	ผู้สอนมีการใช้คำถามชักถามผู้เรียนบ่อยๆ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถาม	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
8	กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมผู้เรียนให้ฝึกปฏิบัติจริง มีการจัดการและการแก้ปัญหา	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
9	ผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการคิดวิเคราะห์ และคิดสร้างสรรค์	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้

ตาราง 17 (ต่อ)

ข้อที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่					รวม	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5				
10	ผู้เรียนได้ทำงานร่วมกันทั้งเป็นกลุ่มและรายบุคคล	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
11	ผู้เรียนได้แสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
12	ผู้สอนมีการเสริมแรงให้นักเรียนที่ร่วมกิจกรรมการเรียนรู้	5	5	5	4	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
13	ผู้สอนมีความตั้งใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	5	5	5	4	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
14	กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมสำหรับเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้เกิดการพัฒนาโนมติได้	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
15	ผู้สอนใช้สื่อการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและหลากหลาย	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
16	สื่อการจัดการเรียนรู้มีความน่าสนใจและทันสมัย	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
17	สื่อการจัดการเรียนรู้ช่วยให้เข้าใจได้ง่าย	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
18	ผู้สอนมีการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยวิธีการที่หลากหลายและเหมาะสม	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
19	ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการวัดและประเมินผล	5	4	5	5	5	24	4.80	0.40	ใช้ได้
20	แบบทดสอบวัดมโนมติมีความเหมาะสมกับผู้เรียน	5	5	5	5	5	25	5.00	0.00	ใช้ได้
ค่าเฉลี่ยรวม								4.96		ใช้ได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2557 - การศึกษาระดับบัณฑิต (กศ.บ. 5 ปี) เกียรตินิยมอันดับ 1

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์-ชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2567 - การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.)

สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลงานตีพิมพ์

ณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์. (2568). ผลการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบบริการสังคม เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยโครงงานวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 12(1).

ณัฐพงศ์ สกุลกิจโกคานนท์ และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2568). การพัฒนามโนคติเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนของฮิวสันและฮิวสันและการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์ของคอลลีบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 18(1).