ป
570.78
ท124ก
2558

การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

18 ส.ค. 2558

ปริญญานิพนธ์
ของ
ทรงกลด ใบยา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
สิงหาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

A 103733

การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

บทคัดย่อ

ของ

ทรงกลด ใบยา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
สิงหาคม 2558

ทรงกลด ใบยา. (2558). *การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (ชีววิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, ปร.ด.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่มีคุณภาพดี และนำปรับไปใช้ทดแทนบทปฏิบัติการเดิมที่ใช้ในรายวิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 (ชว 191) ของนิสิตชั้นปีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นฐานของนิสิตสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง และทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น มีความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้น มีความเข้าใจที่ถูกต้อง และพัฒนาแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน รวมถึงมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองในระดับมาก กลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นผู้เรียนในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 34 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ชนิดปรนัย แบบตอบสองลำดับขั้น จำนวน 7 ข้อ แบบทดสอบอัตนัย จำนวน 1 ข้อ มี 6 คำตอบ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างปลายเปิด จำนวน 4 ข้อ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน จำนวน 15 ข้อ ผลการศึกษา พบ ว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียน ($p < .05$) ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนสูงกว่าคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.56 จำนวนผู้เรียนที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10.88 เป็นร้อยละ 61.39 ภายหลังจากเรียนแล้ว ผู้เรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ (คิดเป็นร้อยละ 47.05) และมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ (คิดเป็นร้อยละ 41.17) จากการสัมภาษณ์ พบว่า ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน มากขึ้น และผู้เรียนมีระดับความพึงพอใจในระดับมากทั้งในด้านการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้นโดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.97±0.65 และมีคะแนนเฉลี่ยด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น เท่ากับ 3.88±0.63 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงพลังงาน บทปฏิบัติการ การจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

DEVELOVEMENT OF HAND-ON LABORATORY PRACTICALS ON ENERGY TRANSFORMATION BY USING CONSTRUCTIVIST LEARNING MANAGEMENT FOR UNDERGRADUATES

AN ABSTRACT

BY

SONGKLOD BAIYA

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Master of Education Degree in Biology

at Srinakharinwirot University

August 2015

Songklod Baiya. (2015). *Development of Hand-on Laboratory Practicals on Energy Transformation by Using Constructivist Learning Management for Undergraduates.* Master thesis, M.Ed. (Biology). Bangkok: Graduate school, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst. Prof. Somkiat Phornphisutthimas, Ph.D.

This research aimed at constructing and developing hands-on laboratory practicals on "Energy Transformation" that have a good quality for adjusting to replace the previous hands-on practicals in the subject of Biology Laboratory I (BI 191) for first-year students who have learned in the area of Science and Technology as well as Life Science. The constructivist learning management has been used to implement these hands-on practicals. By using these hands-on practicals including the constructivist learning management, students have had better learning achievement, higher progression, correct understanding and developed scientific conceptions, as well as have given a high satisfaction level in learning with these practicals using the constructivist learning management. The research participants were 34 second-year students who have learned in B.Sc. (Biology), Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University. The research instruments were a two-tier achievement test (7 items), a subjective test (one item, six answers), four open-ended items of semi-structured interview form, and satisfactory assessment form (15 items). The finding showed that students, learning with the developed hands-on laboratory practicals, had better achievement scores than those before learning with the practicals ($p < .05$). Most students had higher gain progression than class normalized gain (0.56). The number of students who had the correct understanding about "Energy Transformation" increased from 10.88% to 61.39%. After learning with the practicals, most students were classified in groups of complete scientific conception (47.05%) and partial scientific conception (41.17%). From the interviews, numbers of students who had correct understanding on "Energy Transformation" increased. The average satisfaction scores of both the constructivist learning management and the hands-on laboratory practicals were high levels, i.e., 3.97±0.65 and 3.88±0.63, respectively.

Key words: Energy transformation, Hands-on laboratory practical, Constructivist learning management

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

ของ

ทรงกลด ใบยา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนากุล)
วันที่ 14 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

.....ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.บุญรอด ชาติยานนท์)

ประกาศคุณูประการ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากครู ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้มอบโอกาสให้แก่ลูกศิษย์ในการคิดค้นและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยทางด้านการศึกษา ซึ่งได้ตั้งจุดประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ขึ้นมาเพื่อสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 โดยการออกแบบวิธีทำปฏิบัติการ วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่หาง่าย ราคาถูก และไม่เป็นอันตรายต่อผู้สอนและผู้เรียน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์ไม่ได้หากไม่มีครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษา นำไปบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียน ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์หรือจากประสบการณ์ยังน้อย ผู้วิจัยขอน้อมรับเอาข้อผิดพลาดมาปรับปรุงและแก้ไขในงานวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ในการตรวจสอบคุณภาพของบทปฏิบัติการและเครื่องมือวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และอาจารย์ ดร.อนิษฐาน ศรีนวล ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์ ดร.บุญรอด ชาติยานนท์ ที่ได้ให้ข้อแนะนำในการปรับปรุงปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณครูทุกท่านที่เป็นแรงบันดาลใจและเป็นตัวอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัย ขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และภรรยาของผู้วิจัย ผู้ที่คอยให้แรงกำลังใจที่สำคัญมาโดยตลอด ทำให้มีความมุ่งมั่นในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จและพร้อมที่จะก้าวไปสู่ความสำเร็จอีกขั้นหนึ่งในชีวิต

ผลดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอบูชาแด่พระคุณของบิดามารดา บูรพาจารย์ และผู้ที่ได้มอบความรู้ไว้ตามหนังสือหรือผลงานวิชาการต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้นำมาประกอบเป็นความรู้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ทรงกลด ใบยา

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
	ความสำคัญของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ตัวแปรที่ศึกษา	5
	สมมติฐานของการวิจัย	5
	กรอบแนวคิดของการวิจัย	6
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	7
	พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ	7
	การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง	8
	การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21	10
	บทปฏิบัติการ	11
	การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	13
	บทปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	16
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้บทปฏิบัติการในการเรียนการสอน	17
3	**วิธีดำเนินการ**	20
	ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	20
	ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	29
	ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนจริง	32
	กลุ่มผู้เรียนศึกษาที่ใช้ในการทดลองสอน	32
	ตัวแปรที่ศึกษา	33
	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองสอน	33
	การขอจริยธรรมสำหรับการวิจัยในมนุษย์	33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3 (ต่อ)

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติงานวิจัย..... 33

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 37

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์..... 37

การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน..... 44

การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนจริง..... 45

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน..... 45

ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน..... 46

ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจของผู้เรียน..... 47

ผลการวิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์..... 49

ผลการสัมภาษณ์..... 51

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียน..... 54

5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง..... 56

สรุปผลการทดลอง..... 56

อภิปรายผลการทดลอง..... 61

ข้อเสนอแนะ..... 66

บรรณานุกรม..... 67

ภาคผนวก..... 73

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 123

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าคะแนนสำหรับการวิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน	35
2	จำนวนหยดของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทดสอบหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ของการหายใจแบบใช้ออกซิเจนโดยแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียวและระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	38
3	ปริมาตรน้ำที่เคลื่อนที่เข้าไปในหลอดทดลองในการทดสอบอัตราการหายใจของเมล็ดถั่วเขียวโดยแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียว และระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	39
4	การทดสอบน้ำและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน	40
5	ปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์	41
6	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์	42
7	ปริมาณ CO_2 ที่สาหร่ายหางกระรอกใช้ไปในการสังเคราะห์ด้วยแสง	43
8	จำนวนชิ้นตัวอย่างใบพืชที่ลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำภายในเวลา 15 นาทีและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชตัวอย่าง	44
9	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	46
10	ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	47
11	ความเข้าใจของผู้เรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ก่อนเรียนและหลังเรียน	48
12	การจำแนกกลุ่มผู้เรียนตามแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	50
13	ความพึงพอใจผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง	54
14	คุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	111
15	ผลการวิเคราะห์ค่าความยาก-ง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ	114

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	กรอบแนวคิดของการวิจัย	6
2	การเกิดปฏิกิริยา	15
3	ภาพรวมสมการการหายใจและการสังเคราะห์ด้วยแสง	61
4	สมการการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์	61
5	ภาพตัวอย่างบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน	120
6	ภาพตัวอย่างการทดสอบสอนจริงกับผู้เรียนกลุ่มศึกษา	122

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันการจัดการเรียนรู้ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 หมวด 4 แนวการจัดการศึกษา มาตรา 22 การศึกษาต้องยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด สอดคล้องกับการปฏิรูปการศึกษาซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญในการสร้างชาติ ประเทศไทยได้ให้ความสำคัญและเห็นความจำเป็นที่ต้องปฏิรูปการศึกษาในทุกระดับโดยมีเป้าหมายของการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิตอย่างทั่วถึงและมีคุณภาพ (เกษม วัฒนชัย. 2545: ออนไลน์)

การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตัวเอง (constructivism) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติดังกล่าวข้างต้นและการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่มุ่งส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนทั้งในด้านเนื้อหาสาระและกระบวนการ รวมทั้งเจตคติที่จำเป็นต่อการศึกษาผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน เช่น กระบวนการคิด กระบวนการทางสังคม กระบวนการปฏิบัติ กระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ ซึ่งผู้สอนสามารถจัดการเรียนรู้ด้วยการสาธิต การตั้งคำถาม การแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจ และการลงมือปฏิบัติ แต่จากการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ระหว่างการสอนด้วยการลงมือปฏิบัติกับการสอนแบบสาธิตของ Glasson (1989) พบว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่มมีผลการเรียนรู้ใกล้เคียงกัน แต่ผู้เรียนที่เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจะสามารถแก้ปัญหาและให้เหตุผลได้ดีกว่าผู้เรียนที่เรียนรู้จากการสาธิต นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ความรู้เดิมหรือความรู้ก่อนเรียนและการให้เหตุผลมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนและจากการศึกษาผลการเรียนรู้รายวิชาชีววิทยาของผู้เรียนที่ได้ลงมือปฏิบัติการทดลองพบว่า ผู้เรียนมีพัฒนาการการเรียนรู้ทั้งในด้านเนื้อหาสาระและกระบวนการเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ค้นหาความรู้และสร้างความรู้นั้นด้วยตนเองจากการเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์กับความรู้เดิมที่มีอยู่ (วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ์. 2556; Taraban; et al. 2007)

ปัจจุบันได้มีการจัดทำกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552 และกำหนดให้มีการจัดทำมาตรฐานคุณวุฒิในระดับสาขาวิชาได้มีการกำหนดให้จัดทำมาตรฐานคุณวุฒิหรือสาขาวิชาเพื่อให้สถาบันอุดมศึกษานำไปจัดทำหลักสูตรหรือปรับปรุงหลักสูตรในการเรียนการสอนสำหรับการศึกษาวิชาชีววิทยาระดับปริญญาตรี จำเป็นต้องมีความรู้ชีววิทยาพื้นฐานทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยระดับที่สูงขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการสร้างองค์ความรู้

ใหม่หรือนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดความทันสมัยและทันต่อการเปลี่ยนแปลง (มคอ. 1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ. 2554)

วิชาชีววิทยาเป็นรายวิชาหนึ่งในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา อยู่ในหมวดวิชาเฉพาะซึ่งเป็นวิชาแกนวิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 (ชว191) เป็นรายวิชาที่บรรจุในแผนการศึกษาได้จัดให้มีการเรียนในชั้นปีที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1 (มคอ. 2 สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2555) ในการเรียนวิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 เพื่อต้องการให้ผู้เรียนเกิดความรู้และความเข้าใจ ผู้เรียนจะต้องทดสอบสมมติฐานเพื่อให้เห็นผลการทดสอบตามสภาพจริง สำหรับบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน (energy transformation) เป็นบทปฏิบัติการในรายวิชา ชว191 ที่เน้นให้ผู้เรียนศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสิ่งมีชีวิต โดยทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ให้เห็นผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริง แต่จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างที่มีการทำการทดลอง พบว่า บทปฏิบัติการเดิมนั้น มีผลการทดลองเกี่ยวกับการวัดพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนที่เห็นผลการทดลองค่อนข้างไม่ชัดเจน และในแต่ละปฏิกิริยายังขาดวิธีทดสอบสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น และในระหว่างการเรียนปฏิบัติการไม่มีการจัดทำรายงานเพื่อรายงานผลการทดลองจึงทำให้ไม่ทราบว่าผู้เรียนเกิดความรู้และเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการทดลองมากน้อยเพียงใด และขั้นตอนการวัดความรู้ของผู้เรียนเลือกใช้แบบทดสอบหลังเรียน (posttest) เพียงอย่างเดียวไม่มีการวัดความรู้ก่อนเรียน (pretest) จึงทำให้ไม่ทราบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน เพื่อต้องการให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมีแนวทางที่จะใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองเพื่อนำมาประกอบการเรียนการสอนปฏิบัติการในครั้งนี้ เพื่อเน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองเพื่อหาคำตอบและสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่เกิดขึ้นจากการทดลองกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตได้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีความมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

1. เพื่อสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน และความเข้าใจของผู้เรียน
3. เพื่อศึกษาการพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนหลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

ความสำคัญของการวิจัย

บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่ผ่านกระบวนการวิจัยและพัฒนาให้มีคุณภาพ โดยผ่านความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ มีประโยชน์ดังนี้

1. เพื่อให้ได้มาซึ่งบทปฏิบัติการที่มีคุณภาพดีโดยผ่านการสร้างและพัฒนามาจากกระบวนทางการวิจัย

2. เพื่อให้ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีความก้าวหน้าทาง การเรียน มีความเข้าใจเรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงานและมีการพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่เพิ่มขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1. ทดสอบชนิดของสารผลิตภัณฑ์และปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ หาอัตราการเกิดปฏิกิริยาและทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

2. ทดสอบชนิดของสารผลิตภัณฑ์และปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ หาอัตราการเกิดปฏิกิริยาและทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

3. ทดสอบชนิดของสารผลิตภัณฑ์และปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ หาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

2.1 ผู้วิจัยนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาออกแบบวิธีการทดลอง และดำเนินการสร้างเครื่องมือในการทำวิจัย ดังนี้

1. บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

2. สร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4. แบบสัมภาษณ์เพื่อประเมินความรู้และความเข้าใจของผู้เรียน

5. แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

หลังจากที่ได้มีการสร้างเครื่องมือในการทำวิจัยแล้ว ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือในการทำวิจัย ส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบและแก้ไขก่อนส่งให้กับผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการตรวจประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และคุณภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น

2.2 นำบทปฏิบัติการและเครื่องมือที่ดำเนินการแก้ไขแล้วไปทดสอบสอนกับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มทดสอบเครื่องมือ ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาตรีหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์-ชีววิทยา (กศ.บ. 5 ปี) ชั้นปีที่ 4 จำนวน 23 คน ซึ่งชักตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive random sampling) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยาก-ง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ค่าความเชื่อมั่นของแบบ ทดสอบ และความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอนจริงกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา

1. กลุ่มที่ศึกษา ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ชั้นปีที่ 2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นจำนวน 34 คน ซึ่งได้มาจากการชักตัวอย่างแบบเจาะจง

2. ประเมินความรู้ของผู้เรียนก่อนลงมือทำปฏิบัติการด้วยแบบทดสอบความรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น

3. ให้ผู้เรียนลงมือทำปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยผู้เรียนทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกทางการศึกษา (facilitator)

4. ภายหลังจากการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน และวัดแนวคิดที่ถูกต้องของผู้เรียนโดยใช้ข้อสอบปลายเปิด จำนวน 1 ข้อ (6 คำตอบ)

5. ชักตัวอย่างกลุ่มผู้เรียนให้มีทั้งกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน กลุ่มละ 2 คน (อย่างน้อยร้อยละ 10 ของผู้เรียนในแต่ละกลุ่ม) เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจเชิงลึกของผู้เรียนภาย

หลังจากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้และใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

6. ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการจัดการเรียนรู้ และบทปฏิบัติการ

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียนและความเข้าใจ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

2. การพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนหลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น

3. ความพึงพอใจของผู้เรียนหลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่พัฒนาขึ้น

สมมุติฐานของการวิจัย

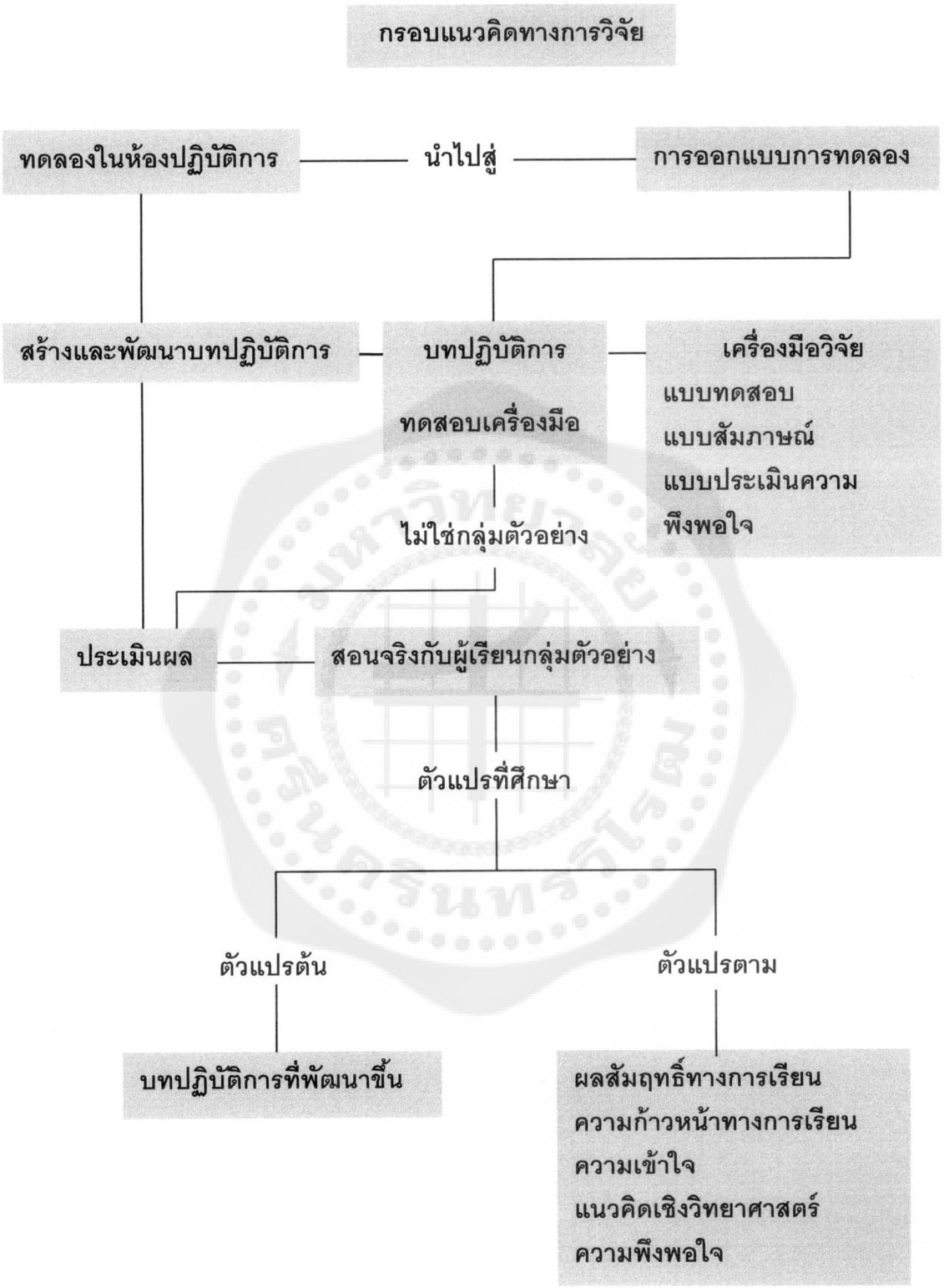
ในการวิจัยครั้งนี้ มีสมมติฐานของการวิจัยดังนี้

1. บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สร้างและพัฒนาขึ้น สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีมีคุณภาพดี

2. ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียนและความเข้าใจเรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3. ผู้เรียนหลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองมีการพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น

4. ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองอยู่ในระดับมาก



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ
2. การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง
3. การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21
4. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
5. การเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิต
6. บทปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 หมวด 4 แนวการจัดการศึกษา มาตรา 22 กำหนดให้การศึกษาต้องยึดหลักว่า "ผู้เรียนทุกคนสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และให้ถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด" กระบวนการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ สอดคล้องกับการปฏิรูปการศึกษา ซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญในการสร้างชาติ ประเทศไทยให้ความสำคัญและเห็นความจำเป็นที่ต้องปฏิรูปการศึกษาในทุกระดับและมีเป้าหมายของการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิตอย่างทั่วถึงและอย่างมีคุณภาพ (เกษม วัฒนชัย. 2545: ออนไลน์) สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทั้งด้านเนื้อหาสาระและกระบวนการ (สำนักงานคณะ กรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. 2553: ออนไลน์) จากการสำรวจเกี่ยวกับปฏิรูปการเรียนรู้ระดับ อุดมศึกษา พบว่า การสอนไม่ควรจำกัดเฉพาะการฝึกอบรมวิชาเฉพาะสาขา พันธกิจของการอุดมศึกษา คือ การให้การฝึกอบรมอันรวมถึงสาขาวิชาเฉพาะ วิชาพื้นฐาน และวิชาต่าง ๆ ที่ให้ความรู้ทั่วไปในการดำรงชีวิต สถาบันอุดมศึกษาต้องพัฒนา "จิตใจแห่งการใฝ่รู้" ให้แก่นักศึกษาและพัฒนานักศึกษาให้เป็นคนที่สมบูรณ์ ในกระบวนการจัดการเรียนการสอนต้องเน้นที่การเรียนมากกว่าการสอน ต้องเน้นให้นักศึกษารู้จักวิธีการเรียนรู้ด้วยตนเอง (learning how to learn) นอกจากนี้ต้องยึดนักศึกษาเป็นสำคัญเน้น "การเรียนรู้" มากกว่า "การสอน" โดยให้นักศึกษารู้จักวิธีการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีจิตใจแห่งการใฝ่รู้ รู้จักแสวงหาความรู้ตลอด ฝึกให้มีความสามารถในการวิพากย์หรือการคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีความคิดริเริ่ม มีทักษะในการประกอบ

อาชีพอิสระ และยึดมั่นในวัฒนธรรมสันติ (พันธ์ศักดิ์ พลสารัมย์. 2557) สอดคล้องกับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองหรือสรรคนิยม (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2554; สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2551) สำหรับการจัดการเรียนรู้รายวิชาชีววิทยาเป็นการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการคิด กระบวนการปฏิบัติ โดยผู้เรียนสามารถค้นหาความรู้และสร้างความรู้ความเข้าใจใหม่จากการเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์กับความรู้เดิมที่มีอยู่ ดังนั้นผู้สอนจึงควรจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้โดยใช้บริบทแวดล้อมเพื่อให้เกิดความรู้ใหม่

2. การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง

การเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเองมีความเชื่อพื้นฐานมาจากการที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้โดยการอาศัยประสบการณ์ที่ได้รับเพื่อการค้นหาความจริง โดยมีรากฐานมาจากทฤษฎีจิตวิทยาและปรัชญาการศึกษาที่หลากหลาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. กลุ่มที่เน้นกระบวนการความรู้ที่เกิดจากตัวบุคคล (personal constructivism หรือ cognitive oriented constructivism) เป็นกลุ่มที่เน้นความรู้เป็นรายบุคคล โดยมีความเชื่อว่ามนุษย์แต่ละคนรู้วิธีเขียนและรู้วิธีคิด เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

2. กลุ่มที่เน้นกระบวนการความรู้ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล (social constructivism หรือ socially oriented constructivism) เป็นกลุ่มที่เน้นความรู้ที่เกิดจากผลผลิตทางสังคม โดยความรู้ที่ได้เกิดจากความสัมพันธ์กับชุมชน และปัจจัยทางวัฒนธรรมสังคมและประวัติศาสตร์มีผลต่อการเรียนรู้ ดังนั้นครูจึงมีบทบาทเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (facilitator) (รายงานการวิจัย. 2542-2547: ออนไลน์) สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเป็นสำคัญ โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้และให้การเรียนรู้เกิดจากตัวนักเรียนเอง ครูจึงต้องแสดงบทบาทในการอำนวยความสะดวกในการเรียน (ประมวล ศรีผันแก้ว. 2541: 56; ไพฑูรย์ สุขศรีงาม. 2537: 111-119)

Jean Piaget ผู้สร้างทฤษฎีพัฒนาการความรู้ (intellectual development theory) ที่เกี่ยวกับการสร้างความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนด้วยกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการ ซึ่งพัฒนามาจากแนวคิดเรื่อง การปรับตัว (Baker; McGaw; & Peterson. 2007) ได้แก่ (1) การซึมซับ (assimilation) เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนนำข้อมูลที่ได้รับจากการรับรู้ผ่านประสาทสัมผัส เช่น การมองเห็น การได้ยิน เข้าไปเก็บไว้ในความทรงจำของผู้เรียน เช่น การที่เห็นไฮดรา (hydra) และผู้สอนบอกว่า นี่คือไฮดรา ทำให้ผู้เรียนซึมซับภาพและลักษณะของไฮดราเข้าสู่ความทรงจำของผู้เรียนและ (2) การปรับโครงสร้างทางปัญญา (accommodation) เป็นส่วนหนึ่งของการปรับตัวเป็นส่วนที่เกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขความรู้ ความเข้าใจที่มีอยู่เป็นความรู้ความเข้าใจใหม่ ซึ่งความรู้ความเข้าใจใหม่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรม เช่น

ระหว่างการทำกิจกรรมผู้เรียนอาจพบเห็นหรือรับรู้ถึงสิ่งต่าง ๆ รอบตัวและพยายามสร้างความสมดุล (equilibration) โดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมที่มีอยู่และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อสร้างหรืออธิบายสิ่งต่าง ๆ ที่ได้จากการรับรู้ เช่น ถ้าผู้เรียนเคยเห็นไฮดราเต็มวัยแล้วมาเห็นหน่อที่หลุดจากตัวไฮดราซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ผู้เรียนอาจเกิดกระบวนการคิดว่าสิ่งมีชีวิตที่เห็นมีลักษณะเหมือนไฮดราแต่มีขนาดเล็กกว่า ผู้เรียนจะเกิดการปรับโครงสร้างทางปัญญา โดยคิดว่าสิ่งมีชีวิตที่เห็นคือไฮดราขนาดเล็ก แต่ถ้าผู้เรียนไม่สามารถสร้างสมดุลดังกล่าวได้จะทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนและไม่สามารถสร้างความรู้ความเข้าใจใหม่ได้ การสร้างความสมดุลดังกล่าวจึงเป็นการอธิบายการก้าวข้ามพัฒนาการของผู้เรียนไปยังขั้นตอนต่อไป (Kendra. 2013a: online)

นอกจากนี้ Piaget ยังเชื่อว่า ผู้เรียนที่ช่วงอายุแตกต่างกัน มีขั้นตอนการพัฒนา (stages of development) แตกต่างกัน โดยผู้เรียนที่มีอายุตั้งแต่ 11 ปีขึ้นไป (ระดับชั้นมัธยมศึกษา) อยู่ในขั้นปฏิบัติการคิดด้วยนามธรรม (formal operational stage) สามารถสร้างแนวความคิดจากนามธรรม และสามารถคำนวณหรือสร้างสรรค์ความคิดโดยใช้เหตุผลและจินตนาการซึ่งเป็นผลมาจากการลงมือปฏิบัติ (ชนาธิป พรกุล. 2554: 76-78; ทิศนา แขมมณี. 2554: 90-92)

Lev Semyonovich Vygotsky ผู้สร้างแนวคิดเกี่ยวกับ zone of proximal development (ZPD) ซึ่งเป็นบริเวณของระดับพัฒนาการที่เกิดขึ้นตามที่ผู้สอนกำหนด โดยผู้เรียนสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองอย่างอิสระและบริเวณของระดับพัฒนาการอาจเกิดขึ้นภายใต้คำแนะนำหรือการช่วยเหลือจากผู้สอนหรือเพื่อนผู้เรียนที่สามารถแก้ปัญหานั้นได้ นอกจากนี้ยังเชื่ออีกว่า การมีปฏิสัมพันธ์มีความจำเป็นต่อกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน เนื่องจากทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทั้งในด้านเนื้อหาสาระและกระบวนการต่าง ๆ การจับคู่ระหว่างผู้เรียนที่มีทักษะมากกับผู้เรียนที่มีทักษะน้อย ทำให้ผู้เรียนที่มีทักษะมากช่วยในการเรียนรู้ของผู้เรียนที่มีทักษะน้อย จะทำให้กิจกรรมการเรียนรู้และการเลือกใช้เครื่องมือมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น ZPD จึงเป็นบริเวณที่มีความสำคัญต่อระดับพัฒนาการของผู้เรียนที่ทำให้ผู้เรียนสามารถก้าวข้ามพัฒนาการของตนเองไปยังขั้นตอนต่อไปได้ (Kendra. 2013b: online) นอกจากการมีปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการของผู้เรียน เช่น ภาษา วัฒนธรรม การลอกเลียนแบบ (ทิศนา แขมมณี. 2554: 92-93; Cakir. 2008)

จากที่กล่าวมาข้างต้น การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเองจึงเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นความสนใจหรือความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนมากกว่าการบรรยายเนื้อหาสาระเพียงอย่างเดียว จากการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ เรื่อง การแพร่และการออสโมซิส ของผู้เรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการทำบทปฏิบัติการและกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการบรรยาย พบว่า ผู้เรียนกลุ่มทดลองมีผลการเรียนรู้มากกว่าผู้เรียนกลุ่มควบคุม (Christianson; & Fisher. 2001) ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ โดยการ

ปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนรู้จากการบรรยายมาเป็นการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง จากการศึกษาของ Khalid (2012) ที่เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของผู้เรียน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้กับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ พบว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้น โดยผู้เรียนกลุ่มทดลองมีผลการเรียนรู้มากกว่าผู้เรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ์ (2556) ที่นำบทปฏิบัติการ เรื่อง โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอกไปทดสอบสอนกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 90 คน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการทำบทปฏิบัติการก่อนการบรรยาย และกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการบรรยาย ก่อนการทำปฏิบัติการพบว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อผู้เรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แตกต่างกันตามแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า ผู้เรียนทั้งสองกลุ่มมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียนแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phornphisutthimas (2007) ที่พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยวิธีทำปฏิบัติการก่อนบรรยายมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียนรู้สูงที่สุด รองลงมาคือ วิธีบรรยายก่อนทำปฏิบัติการ และวิธีบรรยายอย่างเดียว ($p < 0.05$)

3. การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21

ปัจจุบันการจัดการเรียนรู้ในยุคศตวรรษที่ 21 เน้นให้ผู้เรียนและผู้สอนก้าวเข้าสู่การเรียนรู้ในอนาคตไปพร้อม ๆ กัน ผู้สอนจึงต้องมีการออกแบบการจัดการเรียนรู้และเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนผู้สอนและผู้เรียน เพื่อให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญตามที่พระราชบัญญัติการศึกษาที่กำหนดต้องให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้จากการสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยที่ผู้สอนออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อกำหนดผลการเรียนรู้ที่คาดว่าผู้เรียนควรได้รับ (backward design) แล้วย้อนกลับมาเขียนแผนการจัดการเรียนรู้และเขียนจุดประสงค์ให้ตรงกับสมรรถนะที่ผู้เรียนควรจะได้รับ (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2556: 56; Wiggins and McTighe. 2005)

การจัดการเรียนรู้เพื่อให้สอดคล้องกับทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 มีลักษณะที่สำคัญ 9 ประการ ดังนี้ 1) เป็นลักษณะการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ 2) ใช้สื่อต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบในการจัดการเรียนรู้ 3) เป็นการเรียนรู้ที่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้ 4) เป็นการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนและสังเคราะห์องค์ความรู้ใหม่จากประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ได้ 5) แสดงออกอย่างโปร่งใส โดยยึดหลักการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและทำให้เกิดความร่วมมือในการทำงานอย่างมีความสุข 6) ผู้เรียนได้รับความรู้ปริมาณมากจากการเรียนรู้ในหลักสูตร โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้และทรัพยากรต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม 7) มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ตลอดเวลาจนเกิดความรู้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด

8) มีการประสานงานและจัดการเรียนรู้ร่วมระหว่างสถานศึกษาและชุมชน 9) มีความหลากหลายของกระบวนการ วิธีการ เทคนิคและสื่อที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ร่วมระหว่างผู้สอน ผู้เรียน และชุมชน (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2556: 56)

4. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สุรพล วิหคไพบูลย์ (2543) ให้ความหมายของ "บทปฏิบัติการ" ว่า เป็นเอกสารที่ใช้กำหนดแนวทางในการทำการทดลองสำหรับผู้เรียน ประกอบด้วยชื่อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544) ให้ความหมายของ "บทปฏิบัติการ" ว่า เป็นชุดกิจกรรมการเรียนการสอนที่จัดขึ้นโดยเน้นการทดลองเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการปฏิบัติและค้นคว้าด้วยตนเอง

บุญรอด ชาติยานนท์ (2556) ให้ความหมายของ "บทปฏิบัติการ" ว่า เป็นนวัตกรรมด้านการเรียนการสอนที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้ใหม่จากการทดลองด้วยตนเอง และมุ่งให้เกิดความสามารถด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำแนวทางระหว่างทำการทดลอง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการลงมือปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและท้องถิ่นต่อไป

ผู้วิจัยสรุปใจความสำคัญได้ ดังนี้ บทปฏิบัติการ หมายถึง นวัตกรรมด้านการเรียนการสอนที่สร้างและพัฒนาขึ้นโดยผ่านกระบวนทางการวิจัยเพื่อให้ได้บทปฏิบัติการที่ดีมีคุณภาพ เพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้ตรงกับสมรรถนะของผู้เรียน โดยผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้จากการลงมือทำการทดลองซึ่งเป็นการสร้างความรู้ด้วยตนเองและก่อให้เกิดความคิดรวบยอด

4.1 องค์ประกอบบทปฏิบัติการ

สุรพล วิหคไพบูลย์. (2543) ได้อธิบายเกี่ยวกับองค์ประกอบของบทปฏิบัติการ ควรต้องมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ใบความรู้ ต้องมีเนื้อหาครอบคลุมรายละเอียดและต้องสอดคล้องกับกิจกรรมที่ต้องปฏิบัติ
2. หลักการ ต้องสอดคล้องกับบทปฏิบัติการและเหมาะสมกับระดับผู้เรียน
3. จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้น ๆ ต้องบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้น ๆ และต้องให้ผู้เรียนแสงพฤติกรรมที่สังเกตได้ วัดได้ เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง
4. เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาทั้งหมด

5. อุปกรณ์และสารเคมี ต้องมีความเหมาะสมกับผู้เรียนและเรื่องที่ทำการทดลอง

6. วิธีการทดลอง ต้องเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ เรียงลำดับกิจกรรมได้เหมาะสม มีความยากง่ายพอเหมาะ ภาษาชัดเจน ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด ส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดเป็นมีส่วนร่วมในกิจกรรมและส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง

7. แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอนสอดคล้องกับเนื้อหา และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน

8. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับการทดลอง และจุดประสงค์ จำนวนข้อความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการนำไปใช้

ผู้วิจัยสรุปใจความสำคัญขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการได้ ดังนี้ บทปฏิบัติการ ควรประกอบไปด้วย ชื่อเรื่อง ทฤษฎีหรือแนวคิด จุดประสงค์ เวลาทำการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง คำถามท้ายการทดลอง

4.2 การสอนด้วยบทปฏิบัติการ

การจัดการสอนแบบปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นการจัดกิจกรรมการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การทดลองแบบกำหนดแนวทาง (structured laboratory) และการทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง (unstructured laboratory) (สุวัฒก์ นิยมค้า. 2531: 142-144) การจัดกิจกรรมการทดลอง ควรเริ่มจากการทดลองแบบกำหนดแนวทาง โดยมีผู้สอนทำหน้าที่กำหนดปัญหาและระบุวิธีการทดลองและรายละเอียดต่าง ๆ ลงไปในบทปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ผู้สอนยังควรจัดสถานการณ์หรือเหตุการณ์ให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง ให้ความช่วยเหลือผู้เรียนอย่างใกล้ชิด ให้กำลังใจกับผู้เรียนขณะที่ทำปฏิบัติการ (ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์. 2545: 31; อ้างอิงจาก Hoff. 1950. *Secondary-School Science Teaching*. pp. 173-175) จากนั้นผู้สอนจะลดบทบาทของตนเองเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดแนวทางและวิธีการทดลองเพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเอง โดยระหว่างทำการทดลองหรือหลังจากทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้วผู้เรียนต้องเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์กับความรู้เดิมที่มีอยู่แล้ว สร้างแนวคิดหรือสมมติฐานก่อนที่จะแลกเปลี่ยนแนวคิดหรือสมมติฐานที่สร้างขึ้นกับเพื่อนผู้เรียนหรือผู้สอนเพื่อตรวจสอบแนวคิดของตนเอง จากนั้นผู้เรียนจะสร้างความรู้ความเข้าใจขึ้นด้วยตนเอง การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นการจัดการเรียนรู้ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองตามบทปฏิบัติการหรือกิจกรรมการทดลองตามหนังสือเรียนรายวิชาชีววิทยาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ซึ่งเป็นการจัดการทดลองแบบกำหนดแนวทาง โดยผู้สอนสามารถจัดการเรียนรู้ด้วยการทำบทปฏิบัติการตามขั้นตอนต่าง ๆ (ประวิตร ชูศิลป์. 2524) ดังนี้

1. ขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง (pre-laboratory discussion) เป็นขั้นตอนที่ผู้สอนอาจตั้งคำถามหรือให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อกระตุ้นความคิดของผู้เรียนหรือทำให้ผู้เรียนอยากค้นหาความรู้ด้วยตนเอง โดยการทำกิจกรรมการเรียนรู้บางอย่าง ผู้สอนอาจให้ความรู้พื้นฐานบางอย่างกับผู้เรียนก่อนการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงกับความรู้ที่อาจได้รับจากประสบการณ์

2. ขั้นการทดลอง (experiment) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองตามวิธีการทดลองที่ระบุในบทปฏิบัติการหรือแนวทางการทำทดลองที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง โดยผู้สอนทำหน้าที่ให้คำแนะนำหรืออำนวยความสะดวกในการเรียนรู้กับผู้เรียนอย่างใกล้ชิด ดังนั้น ในขั้นตอนนี้ผู้เรียนจึงมีบทบาทสำคัญในการค้นหาความรู้ของผู้เรียนด้วยการลงมือปฏิบัติการทดลอง

3. ขั้นอภิปรายผลการทดลอง (post-laboratory discussion) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลองซึ่งอาจระบุอยู่ในคู่มือจัดการเรียนการสอนสำหรับผู้สอน เพื่อให้ผู้สอนนำผลการทดลองที่ระบุไว้ในคู่มือจัดการเรียนการสอน มาเปรียบเทียบหรือเชื่อมโยงกับผลการทดลองของผู้เรียน จากนั้นผู้สอนอาจใช้คำถามหรือให้ความรู้เพิ่มเติมเพื่อให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์กับความรู้เดิมที่มีอยู่และสร้างความรู้ใหม่ด้วยตนเอง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการสรุปและอภิปรายผลการทดลองได้

5. การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

สิ่งมีชีวิตต้องมีการจัดระเบียบในการทำงานโดยใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อรักษาดุลยภาพของชีวิตไว้ และเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างของเซลล์หรือนำไปใช้เป็นพลังงาน แสดงให้เห็นว่า สสารไม่สูญหายอาจเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงาน และพลังงานรูปหนึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎทรงพลังงาน (law of conservation of energy) คือ พลังงานไม่สูญหาย แต่เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้

5.1 พลังงานในสิ่งมีชีวิต

พลังงานในสิ่งมีชีวิต หมายถึง ความสามารถในการทำงานและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ พลังงานจำแนกตามการใช้งานเพื่อการเคลื่อนที่ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ พลังงานสะสมที่ไม่ได้ใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานศักย์ (potential energy) และพลังงานที่นำไปใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานจลน์ (kinetic energy) พลังงานศักย์สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานจลน์ได้เมื่อเซลล์หรือร่างกายเคลื่อนที่ไป อาหารที่เรารับประทานเข้าไปอาจอยู่ในรูปของสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่

คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน หรือสารอาหารอื่น ๆ ที่ไม่ให้พลังงาน สารอาหารต่าง ๆ ที่ได้ผ่านกระบวนย่อยแล้วเก็บสะสมไว้ในรูปแบบพลังงานเคมี (chemical energy) ซึ่งยังไม่ได้ใช้ในการเคลื่อนที่จึงเป็นพลังงานศักย์รูปแบบหนึ่ง เมื่อเราเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ไป พลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้นั้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่งเรียกว่า พลังงานกล (mechanical energy) ในขณะที่เราออกกำลังกาย โมเลกุลแอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) ในกล้ามเนื้อเคลื่อนที่ไป ทำให้เกิดความอบอุ่นและมีเหงื่อไหลออกมา พลังงานเคมีที่อยู่ในร่างกายในรูปแบบสารอาหารจะเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อน (thermal energy) ซึ่งเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอะตอมหรือโมเลกุลอย่างสุ่มภายในเซลล์ พลังงานจากการแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์ไหลเวียนผ่านเข้ามาในโลกของเราไม่น้อยกว่า 13×10^{23} แคลอรีต่อปี ซึ่งพืช สาหร่ายเซลล์เดียวหรือแอลจี (algae) และแบคทีเรียบางชนิดมีรงควัตถุที่ช่วยในการจับแสง (เช่น คลอโรฟิลล์) ซึ่งนำพลังงานเหล่านี้ไปใช้ในการสังเคราะห์อาหาร โดยทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เปลี่ยนแปลงไปเป็นโมเลกุลของสารเคมีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนขึ้น (เช่น น้ำตาล) เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง น้ำตาลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนจะจัดเรียงอะตอมใหม่และเก็บสะสมในรูปแบบของพลังงานเคมี (พลังงานศักย์) ที่พันธะโคเวเลนต์ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งสามารถสลายตัวกลับเป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้งานใหม่ได้ จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า พลังงานไม่สูญหายแต่อาจเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ได้ เรียกข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้ว่า กฎทรงพลังงาน ซึ่งเป็นกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (the first law of thermodynamics)

5.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิต

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตจำแนกออกเป็น 4 รูปแบบ ตามรูปแบบของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงมาเป็นพลังงานเคมี เรียกว่าการเปลี่ยน-แปลงทางโฟโตเคมี (photochemical transformation หรือ photochemical transfer) เช่น ในเซลล์ของใบพืชมีคลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่จับพลังงานการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารที่มีโมเลกุลต่ำ (energy-poor molecule) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นโมเลกุลของสารที่มีพลังงานสูง (energy-rich molecule) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ บางส่วนเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังความร้อนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมนี้อาจเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

2. การเปลี่ยนแปลงอะตอมในโมเลกุลของสารเคมี ทำให้สารเคมีเดิมเปลี่ยนแปลงไปและเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีภายในโมเลกุลของสารเคมีนั้นเอง เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมี

(chemical transformation หรือ chemical transfer) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร (phase transition) การเกิดปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)

3. การเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานกล เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงทางกล (mechanical transformation หรือ mechanical transfer) เช่น การเคลื่อนไหวของพืชและสัตว์ การหดตัวของกล้ามเนื้อ

4. การเปลี่ยนแปลงสารเคมีอีกชนิดหนึ่งเป็นสารเคมีอีกชนิดหนึ่งโดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิโดรีดักชัน เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า (electro chemical transformation หรือ electrochemical transfer) เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจระดับเซลล์

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งมาเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งนั้น ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบ (disorder หรือ randomness) ของโมเลกุลภายในเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต และทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนที่ไม่ได้ใช้งาน (unusable energy) การเปลี่ยนแปลงพลังงานและสูญเสียพลังงานบางส่วนในรูปความร้อน เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์-ประกอบนี้ เรียกว่า กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ (the second law of thermodynamics) หรือกฎของเอนโทรปี (the law of entropy) กฎข้อที่สองนี้แสดงให้เห็นว่า ไม่มีกระบวนการใดที่มีประสิทธิ-ภาพสูงจนสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ทั้งหมด (ร้อยละ 100) และส่วนใหญ่จะสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมในรูปแบบพลังงานความร้อน หรือในรูปแบบพลังงานแสง พลังงานเพียงร้อยละ 20-30 ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานกลและสูญเสียความร้อนออกไป เซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานจลน์ได้เพียงร้อยละ 40 ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม

5.3 ปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต

ปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction) ในสิ่งมีชีวิตเป็นกระบวนการที่สารตั้งต้นในปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า ซับสเทรต (substrate) ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ (product) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยการสลายหรือสร้างพันธะเคมีหรือเกิดทั้งสลายและสร้างพันธะเคมีในเวลาเดียวกัน และการเกิดปฏิกิริยาโดยทั่วไปเขียนได้

ดังสมการ

$$A + B \text{ (สารตั้งต้น)} \longrightarrow C + D \text{ (สารผลิตภัณฑ์)}$$

ภาพประกอบ 2 การเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีการแลกเปลี่ยนพลังงานอยู่เสมอ ภายหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง การแลกเปลี่ยนพลังงานอาจมีผลทำให้พลังงานพันธะของสารผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าพลังงานของพันธะของสารตั้งต้น แสดงให้เห็นว่า การเกิดพันธะเคมีต้องมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงานออกจากระบบ ปฏิกิริยาใดสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว สารตั้งต้นมีพลังงานพันธะมากกว่าสารผลิตภัณฑ์และปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่เหลือออกมา เรียกปฏิกิริยานั้นว่า ปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction หรือ exothermic reaction) แต่หากปฏิกิริยาใดเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้วสารตั้งต้นมีพลังงานพันธะต่ำกว่าสารผลิตภัณฑ์ และต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยสร้างพันธะในสารผลิตภัณฑ์ เรียกปฏิกิริยานั้นว่า ปฏิกิริยาดูดพลังงาน (endergonic reaction หรือ endothermic reaction) ปฏิกิริยาดูดพลังงานเกิดยากกว่าปฏิกิริยาคายพลังงาน ซึ่งปฏิกิริยาคายพลังงานเปรียบ-เทียบได้กับการนำก้อนหินขึ้นไปวางบนยอดเขา (มีพลังงานศักย์สูงสุด) จากนั้นปล่อยให้กลิ้งลงมา (พลังงานศักย์เปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์) ส่วนปฏิกิริยาดูดพลังงานเปรียบเทียบได้กับการดันก้อนหินกลับขึ้นไปบนยอดเขาซึ่งต้องใช้พลังงานนอกระบบเข้าช่วย (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2557)

6. บทปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ในระดับอุดมศึกษามีการเรียนการสอนปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ในหัวข้อปฏิบัติการต่าง ๆ ได้แก่ การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) และการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ซึ่งมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาให้เป็นบทปฏิบัติการชีววิทยาเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติ และเพื่อให้ผู้เรียนได้เข้าใจเนื้อหาในภาคบรรยายได้ดียิ่งขึ้น

บทปฏิบัติการที่ใช้สอนต้องมีจุดประสงค์ของการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหาภาคบรรยาย ตัวอย่าง เช่น

ปฏิบัติการชีววิทยา บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ (1) อธิบายความหมายของคำว่า การสังเคราะห์แสงและการหายใจระดับเซลล์ได้ (2) เข้าใจลักษณะโครงสร้างของใบซึ่งเป็นแหล่งสำคัญในการสังเคราะห์แสง (3) ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง (4) ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงและการหายใจที่มีผลต่อการรักษาความสมดุลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (5) แยกความแตกต่างระหว่างการหายใจแบบใช้แก๊สออกซิเจน (aerobic) และแบบไม่ใช้แก๊สออกซิเจน (anaerobic) (สิริภัทร์ พราหมณีย์. 2556: 70-80)

ปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การสังเคราะห์แสงในพืช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ (1) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง (2) ทำการแยกสีชนิดต่าง ๆ ออกจากใบพืช (ดวงทิพย์ มูลมั่งมี; & ช่อทิพย์ หล่อรุ่งเรือง. 2556: 70-81)

ปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊ส (respiration) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาการหายใจของพืช และสมดุลมวลของการแลกเปลี่ยนแก๊สในกระบวนการหายใจ (ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์; วิมลศิริ พรทวีวัฒน์; & พงศ์ศักดิ์ ขุนแร่. 2556: 65-69)

ปฏิบัติการชีววิทยา1 (ชว191) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน (energy transformation) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ (1) อธิบายความแตกต่างของการหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ (2) อธิบายกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ และทราบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน และ (3) เปรียบเทียบกระบวนการหายใจและการสังเคราะห์แสงได้ (วิเชียร มากตุ่น; & ธวัช ดอนสกุล. 2549)

จากเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการชีววิทยาในการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยสรุปได้ดังนี้ บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ประกอบด้วยกระบวนการหายใจระดับเซลล์และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้มีความสำคัญที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้บทปฏิบัติการในการเรียนการสอน

อรอุมา ละมุล (2541) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการและคู่มือประกอบการสอน เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก โดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและประเมินความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ ก่อนนำไปใช้สอนจริงกับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 30 คน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและประเมินความสอดคล้องของปฏิบัติการ (IOC) อยู่ในระดับมาก และบทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เท่ากับ 80.11/80.27

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544) ได้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคการแยกสาร พบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเรียนการสอน โดยมีค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เท่ากับ 81.19/80.33 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 80/80 และเมื่อนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอน พบว่า ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.01$) ทั้งในด้านความรู้ ความจำ ด้านความเข้าใจ ด้านการนำไปใช้ และด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ผู้เรียนยังมีความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการอยู่ในระดับมาก และมีความพึงพอใจต่อการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการอยู่ในระดับมาก

ผ่องฤดี พวงประดิษฐ์ (2546) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การย้อมด้ายฝ้ายด้วยสีธรรมชาติจากใบพืชตามความนิยมของท้องถิ่น พบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ระดับดี) และเมื่อนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอน พบว่า ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.05$) ทั้งด้านความรู้ ความจำ ด้านความเข้าใจ และด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไป นอกจากนี้ผู้เรียนยังมีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ขณะเรียน โดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับดีมาก

ธนวรรณ โสมน้อย (2548) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.01$) มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ยร้อยละ 80 และมีเจตคติต่อการทำบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดี

พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี ได้พัฒนาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการ ก่อนนำไปใช้ไปใช้สอนจริงกับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี จำนวน 60 คน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 30 คน พบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านเนื้อหาสาระสูงกว่าผู้เรียนที่เรียนแบบปกติ

ณัฏฐณิชา โพธิ์งาม และสุระ วุฒิพรหม (2553) ได้จัดการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติ เรื่อง อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะทางวิทยาศาสตร์ พบว่า หลังจากการเรียนการสอน ด้วยการลงมือปฏิบัติ ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.01$) มีความก้าวหน้าทางการเรียนเท่ากับ 0.68 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางและมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (4.02)

อัฐวุฒิ คำแสน และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ (2554) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมปรับปรุงดินและการเปลี่ยนแปลงของดิน พบว่า ชุดกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าประสิทธิภาพของชุดกิจกรรม เท่ากับ 80.2/81.3 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และหลังจากที่ผู้เรียนเรียนด้วยชุดกิจกรรม ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.05$)

บุญรอด ชาติยานนท์ (2556) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมวัชพืชโดยใช้สารจากใบพืชสำหรับนิสิตปริญญาตรี พบว่า หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นจากการก่อนเรียน โดยมีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 0.521

วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ์ (2556) นำบทปฏิบัติการ เรื่อง โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอกไปทดสอบสอนกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 90 คน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการ

เรียนรู้ด้วยการทำบทปฏิบัติการก่อนการบรรยายและกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการบรรยายก่อนการทำปฏิบัติการพบว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อผู้เรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แตกต่างกันตามแผนการจัดการเรียนรู้พบว่า ผู้เรียนทั้ง 2 กลุ่ม มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียนแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี ซึ่งมีขั้นตอนในการทำวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอนกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เรื่องที่ 1.1 ทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เป็นขั้นตอนการทดสอบสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลู [bromothymol blue, $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ มีช่วง pH อยู่ระหว่าง 6.0 (สีเหลือง) - 7.6 (สีน้ำเงิน)] เป็นอินดิเคเตอร์ และในการทดสอบมีปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. จำนวนเมล็ดถั่วเขียวงอก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด และเมล็ดถั่วเขียวต้ม
2. ระยะเวลาที่ทำการทดลอง คือ 0, 60 และ 120 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. หลอดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด
2. เส้นด้าย ความยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 เส้น
3. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
4. สำลี
5. ปากคีบ
6. เมล็ดถั่วเขียวต้ม
7. เมล็ดถั่วเขียวงอก
8. สารละลายโบรโมไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 1.0 (w/v)
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.01 นอร์มอล (N)

10. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา

วิธีทดสอบ

1. เติมน้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในหลอด ๆ ละ 5 มิลลิลิตร ทั้ง 3 หลอด
2. หยดสารละลายโบรโมไทมอลบลู หลอดละ 1 หยด และเขย่าให้เข้ากัน
3. นำสำลีพันเป็นก้อนและผูกด้วยเส้นด้ายใส่ลงไปในหลอดโดยให้สำลีอยู่เหนือระดับของสารละลายในหลอดทดลอง ประมาณ 1 เซนติเมตร
4. หลอดทดลองที่ 1 ใส่เมล็ดถั่วเขียวงอก หลอดทดลองที่ 2 ใส่เมล็ดถั่วเขียวต้ม และหลอดทดลองที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่วเขียว (จำนวนเมล็ดถั่วเขียวให้ใส่ตามปัจจัยของการทดสอบ คือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด)
5. ปิดจุกด้วยสำลีทุกหลอดทดลอง สังเกตและบันทึกผลการเกิดปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (ระยะเวลาเป็นไปตามปัจจัยที่ใช้ทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที)
6. ทดสอบสารผลิตภัณฑ์และปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดการหายใจของเมล็ดถั่วเขียวโดยวิธีการไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N และใช้สาระลายโบรโมไทมอลบูลเป็นอินดิเคเตอร์ (โดยกำหนดให้ จำนวนหยดของสารละลาย NaOH จำนวน 20 หยดมีค่าเท่ากับปริมาตรสาร 1 มิลลิลิตร)
7. คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เรื่องที่ 1.2 ทดสอบหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เป็นขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราของการหายใจของเมล็ดถั่วเขียวทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) เป็นองค์ประกอบ ทดสอบโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ โดยมีปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. จำนวนเมล็ดถั่วเขียวงอก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด และเมล็ดถั่วเขียวต้ม
2. ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. หลอดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด
2. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
3. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. สำลี
5. น้ำสีผสมอาหาร

A 402733

6. เมล็ดถั่วเขียวงอก

7. เมล็ดถั่วเขียวต้ม

8. สารละลาย $Ca(OH)_2$ เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)

9. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน

10. ปากคีบ จำนวน 1 อัน

หมายเหตุ น้ำสีผสมอาหาร หมายถึง น้ำประปา ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ผงสีผสมอาหาร 0.1 มิลลิกรัม (จะทำให้ได้น้ำสีที่ไม่เข้มข้นมาก และสังเกตผลการทดลองได้ชัดเจน)

วิธีทดสอบ

1. น้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ ปริมาตร บีกเกอร์ ละ 30 มิลลิลิตร

2. ใส่เมล็ดถั่วเขียวในหลอดทดลอง ดังนี้

หลอดทดลองที่ 1 ใส่เมล็ดถั่วเขียวงอก

หลอดทดลองที่ 2 ใส่เมล็ดถั่วเขียวต้ม

หลอดทดลองที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่วเขียว

(จำนวนเมล็ดถั่วเขียว เป็นไปตามปัจจัยที่ใช้ทดสอบ คือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด)

3. นำสำลีพัน (ก้อนที่ 1) เป็นก้อนเล็ก ๆ โดยให้มีขนาดพอดีสำหรับใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด โดยให้สำลีอยู่สูงกว่าเมล็ดถั่วในหลอดทดลองประมาณ 2 เซนติเมตร จากนั้นปั้นสำลี (ก้อนที่ 2) ให้เป็นก้อนจุ่มลงสารละลาย $Ca(OH)_2$ แล้วใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 3 และปิดทับด้วยสำลีอีกชั้น (เพื่อซับสารละลาย $Ca(OH)_2$ ไม่ให้ไหลออกมา) แล้วจุ่มปลายหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด ลงไปในบีกเกอร์ที่เทน้ำสีผสมอาหารไว้แล้ว โดยให้หลอดตั้งตรง

4. สังเกตและบันทึกผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง ตามระยะเวลาที่ทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

5. คำนวณหาปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้นในหลอดทดลอง จากสูตรและคำนวณหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

หมายเหตุ อัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน = อัตราการดูดซับของสารละลาย $Ca(OH)_2$ กับสารผลิตภัณฑ์ (CO_2) ที่เกิดขึ้น

คำนวณปริมาตรของน้ำในแต่ละหลอด (โดยที่ π มีค่าเท่ากับ 3.14)

$$v = \pi r^2 h$$

คำนวณหาอัตราการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว

$$\text{อัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน } (cm^3/min) = \frac{\text{ปริมาตร (v)}}{\text{เวลา(min)} \times \text{จำนวนเมล็ดถั่วเขียว}}$$

เรื่องที่ 1.3 ทดสอบความร้อนและน้ำที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เป็นขั้นตอนการทดสอบความร้อนและน้ำที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว โดยมีปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. เมล็ดถั่วเขียวงอกและเมล็ดถั่วต้ม
2. ระยะเวลาที่ทำการทดลอง คือ 0, 60 และ 120 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. กล่องโฟม ขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
2. ถุงซิปล็อก ขาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ
3. สำลีชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) และอบให้แห้ง
4. เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 3 อัน
5. เมล็ดถั่วเขียวงอก
6. เมล็ดถั่วเขียวต้ม
7. กระดาษทิชชู
8. เทปกาว

<u>หมายเหตุ</u> ตัดสำลีให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร นำไปชุบสารละลาย $CuSO_4$ ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) ผึ่งทิ้งไว้ 1 คืน และนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดความชื้นในสำลีชุบสารละลาย $CuSO_4$

วิธีทดสอบ

1. ซับน้ำออกจากเมล็ดถั่วเขียวงอก **<u>ให้แห้งสนิท</u>** ก่อนใส่ลงในถุงซิปล็อก A ให้ได้ปริมาณ 2/3 ถุง
2. ซับน้ำออกจากเมล็ดถั่วเขียวต้ม **<u>ให้แห้งสนิท</u>** ก่อนใส่ลงในถุงซิปล็อก B ให้ได้ปริมาณ 2/3 ถุง
3. ใช้ปากคีบ คีบสำลีชุบสารละลาย $CuSO_4$ ที่อบแห้งแล้ว ใส่ไปถุงซิปล็อก ถุงละ 1 แผ่น โดยวางสำลีให้อยู่ด้านบนเมล็ดถั่ว
4. เสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปตรงรอยตัดข้าง ๆ ถุงซิปล็อก A และ B และปิดด้วยเทปกาวให้สนิท ไล่อากาศออกจากถุงให้หมดก่อนนำถุงซิปล็อกทั้ง 2 ใส่ลงไปในกล่องโฟม (ภายในกล่องโฟมให้ใส่

เทอร์โมมิเตอร์และสำลีชุบสารละลาย $CuSO_4$ ไปอีก 1 ชุด) ให้สังเกตอุณหภูมิและสีของสำลีชุบสารละลาย $CuSO_4$ และบันทึกผลการทดลองตามระยะเวลาที่กำหนดให้ และปิดฝากล่องโฟมให้สนิท

เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เรื่องที่ 2.1 ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

เป็นขั้นตอนการทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจของยีสต์ โดยไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ และกำหนดปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ปริมาณของยีสต์ผง คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม
2. ร้อยละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5
3. ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
2. สายยางที่เสียบอยู่ในจุกยาง
3. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ยีสต์ผง
5. สารละลายน้ำตาลซูโครส
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.01 N
7. สารละลายโบรโมไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)
8. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา

วิธีทดสอบ

1. ขวดทดลองที่ 1 เทยีสต์ผงและเติมสารละลายน้ำตาลซูโครสปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ปริมาณยีสต์และร้อยละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นไปตามปัจจัยของการทดสอบ)

2. ขวดทดลองที่ 2 เติมน้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และหยดสารละลายโบรโมไทมอลบลู ลงไป 5 หยด เขย่าผสมให้เข้ากัน

3. ปิดจุกและเสียบสายยาง ให้ขวดทดลองทั้ง 2 ขวด อยู่ในสภาวะปิด สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนสีของโบรโมไทมอลบลู ตามปัจจัยของระยะเวลาในการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

4. ทดสอบชนิดสารผลิตภัณฑ์และปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของยีสต์ โดยวิธีการไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N และใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลูเป็นอินดิ-

เคเตอร์ (โดยกำหนดให้ จำนวนหยดของสารละลาย NaOH จำนวน 20 หยดมีค่าเท่ากับปริมาตรสาร 1 มิลลิลิตร)

5. คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของยีสต์

เรื่องที่ 2.2 หาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

เป็นขั้นตอนการทดสอบหาอัตราการหายใจของยีสต์ โดยกำหนดปัจจัยดังนี้

1. ปริมาณของยีสต์ 1 กรัม
2. สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5
3. ระยะเวลาทดสอบ 60 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
2. ปิเปตแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร
3. สายยางที่เสียบอยู่ในจุกยาง จำนวน 2 ชุด
4. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายน้ำตาลซูโครส
6. ยีสต์ผง
7. ลูกยาง

วิธีทดสอบ

1. ขวดทดลองที่ 1 เทยีสต์ผงและเติมสารละลายน้ำตาลซูโครส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ปริมาณของยีสต์และร้อยละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสใส่ตามปัจจัยของการทดสอบ) และขวดทดลองที่ 2 ใส่น้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปิดด้วยจุกยางที่เสียบสายยางทั้ง 2 ขวดทดลอง

2. เสียบส่วนปลายปิเปตเข้ากับปลายสายยางที่เสียบกับขวดทดลองที่ 2 แล้วใช้ลูกยางดูดน้ำจากขวดทดลองที่ 2 ให้เข้ามาในปิเปต โดยให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใช้มือปิดปิเปตเอาไว้แล้วเสียบปลายสายยางจากขวดทดลองที่ 1 เข้าไปเพื่อทำให้อยู่ในสภาวะปิด (จำกัดปริมาณออกซิเจน)

3. เริ่มจับเวลาทั้งหมด เมื่อมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในปิเปตปริมาตร 5 มิลลิลิตร สังเกตและบันทึกผลเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา

เรื่องที่ 2.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังความร้อนในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ โดยกำหนดปัจจัย ดังนี้

1. ปริมาณของยีสต์ผง คือ 1กรัม
2. ร้อยละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5
3. ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ คือ 60 นาที

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
2. เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 2 อัน
3. ยีสต์ผง
4. สารละลายน้ำตาลซูโครส
5. สายยางที่เสียบจุกยาง
6. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. น้ำประปา

วิธีทดสอบ

1. ขวดทดลอง ที่ 1 และ 2 ใส่ยีสต์ผง และเติมสารละลายน้ำตาลซูโครสปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไป (ปริมาณของยีสต์และร้อยละความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นไปตามปัจจัยของการทดสอบ)

2. ขวดทดลองที่ 3 เติมน้ำประปาปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. เสียบจุกยางพร้อมสายยางลงในขวดทดลองที่ 1 (ยีสต์ผสมน้ำตาลซูโครส) และขวดทดลองที่ 3 (น้ำประปา) ให้ขวดทดลองทั้งสองขวด อยู่ในสภาวะปิด ส่วนขวดทดลองที่ 2 (ยีสต์ผสมน้ำตาลซูโครส) ให้เปิดฝาไว้

4. สังเกตและบันทึกผลอุณหภูมิจากการหายใจของยีสต์ในสภาวะที่มีออกซิเจนและจำกัดออกซิเจน ตามปัจจัยของระยะเวลาในการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

<u>หมายเหตุ</u> ในขั้นตอนนี้เพิ่มการทดสอบกลิ่นเอทานอลจากการหายใจของยีสต์ในภาวะมีออกซิเจนและภาวะจำกัดออกซิเจน ตามปัจจัยของระยะเวลาในการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

เรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

เรื่องที่ 3.1 ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก

เป็นขั้นตอนการทดสอบการใช้สารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก โดยไทเทรตด้วยปริมาณ CO_2 ที่ใช้ไปด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลูเป็นอินดเคเตอร์ และกำหนดปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ระยะเวลาที่ทำการทดลอง คือ 0, 60 และ 120 นาที
2. แสงสว่าง คือ ให้แสงสว่างกับไม่ให้แสง

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. หลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด
2. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. สาหร่ายหางกระรอก ความยาวท่อนละ 5 เซนติเมตร
5. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา
6. สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.05 N
7. สารละลายโบรโมไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)
8. หลอดกาแฟ
9. แท่งแก้วคนสาร จำนวน 1 อัน
10. สำลี
11. โคมไฟ จำนวน 1 อัน
12. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน

วิธีทดสอบ

1. เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 45 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์และหยดสาร ละลายโบรโมไทมอลบลูลงไป 2 หยด คนให้สีผสมกัน

2. เป่าลมหายใจผ่านหลอดกาแฟลงไปในน้ำจนเป็นสีเหลือง แบ่งน้ำใส่หลอดทดลองที่ 1, 2 และ 3 ปริมาตรหลอดละ 15 มิลลิลิตร

3. ใส่สาหร่ายหางกระรอกยาวท่อนละ 5 เซนติเมตร โดยคว่ำส่วนปลายลงไปหลอดทดลองที่ 1 และ 3 (หลอดที่ 2 ไม่ใส่สาหร่ายหางกระรอก) ปิดจุกด้วยสำลี นำหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ไปให้แสงสว่างจากโคมไฟ ส่วนหลอดที่ 3 เก็บในที่มืด สังเกตและบันทึกผล ตามปัจจัยของระยะเวลาในการทดสอบ คือ 0, 60 และ 120 นาที

4. ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกโดยน้ำกลั่นที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 0.05 N และคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ไป (โดยกำหนด จำนวนหยดของสารละลาย HCl จำนวน 20 หยดเท่ากับปริมาตร 1 มิลลิลิตร)

5. คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

เรื่องที่ 3.2 หาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

เป็นขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช โดยมีปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ชนิดของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยว
2. ร้อยละความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5
3. แสงสว่าง คือ ให้แสงสว่างกับไม่ให้แสง

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 ชุดการทดลอง)

1. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน
2. ใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ วาสนา (*Dracaena fragrans* (L.) Ker Gawl.) พลับพลึง (*Crinum asiaticum* L.) ก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia spathocircinata Aristeguita cv.* Golden Torch)
3. ใบพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ชบา (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) กระดังงาจีน (*Artabotrys hexapetalus* (L.f.) Bhandari) ชมพูพันธุ์ทิพย์ (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.)
4. บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
5. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
6. กระบอกฉีดยา ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
7. กรรไกร จำนวน 1 อัน
8. ไม้บรรทัด จำนวน 1 อัน
9. ปากคีบ จำนวน 1 อัน
10. สารละลาย $NaHCO_3$
11. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา
12. โคมไฟ จำนวน 1 ชุด

วิธีทดสอบ

1. เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในกระบอกตวง ทั้ง 2 กระบอก ๆ ละ 100 มิลลิลิตร

2. ตัดใบพืชให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตรและยาว 1 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น หยิบใส่ลงในกระบอกฉีดยา

3. ดูดสารละลาย $NaHCO_3$ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร (ร้อยละความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ เป็นไปตามปัจจัยของการทดสอบ คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5) และไล่อากาศออกให้หมด

4. ใช้นิ้วปิดปลายเข็มฉีดยาและใช้มืออีกข้างดึงก้านสูบลงมา ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที และปล่อยก้านสูบกลับ ให้สังเกตว่าชิ้นส่วนของพืชจมลงมาแสดงว่าสารละลาย $NaHCO_3$ แพร่เข้าไปในชิ้นส่วนของใบพืชแล้ว

5. ฉีดสารละลายที่อยู่ในกระบอกเข็มฉีดยาทิ้ง และคีบชิ้นส่วนของใบพืชไปใส่ในกระบอกตวงที่เตรียมไว้ กระบอกตวงละ 10 ชิ้น นำกระบอกที่ 1 ไปให้แสงไฟ และกระบอกที่ 2 เก็บไว้ในที่มืด

6. นับจำนวนชิ้นตัวอย่างใบพืชที่ลอยตัวขึ้นมาที่ระดับความสูง 50 มิลลิลิตร สังเกตบันทึกผล และหาอัตราของการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

<u>หมายเหตุ</u> อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชต่อพื้นที่ใบ 1 ตารางเซนติเมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และได้เลือกผลการทดสอบกับวิธีการทดสอบปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ให้ผลการทดสอบดีที่สุด โดยคำนึงถึงระยะเวลาจริงของการเรียนการสอนปฏิบัติการชีววิทยาพื้นฐาน 1 (ชว191) จากนั้นออกแบบวิธีการทดลองในการสร้างบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยมีขั้นตอนในการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการเขียนเป็นองค์ประกอบของบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ซึ่งประกอบด้วยบทปฏิบัติการ จำนวน 3 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจนของพืช

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

2. นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการ ตามวิธีการของ บุญรอด ชาติยานนท์ (2556: 43-46) โดยวิเคราะห์คุณภาพตามองค์ประกอบของบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน มีดังนี้

(1) ชื่อบทปฏิบัติการ

(2) หลักการหรือแนวคิด

(3) จุดประสงค์การเรียนรู้

(4) วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

(5) วิธีการทดลอง

(6) ผลการทดลอง (แบบบันทึกกิจกรรม และแบบสรุปกิจกรรม)

(7) คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

โดยมีระดับคะแนนประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ดี

ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง พอใช้

ระดับ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

และความสอดคล้องระหว่างบทปฏิบัติการกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการกำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ดังนี้

+1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วย

0 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญไม่แน่ใจ

–1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญไม่เห็นด้วย

3. นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทั้งในด้านการใช้ภาษา เนื้อหาสาระ กระบวนการ ไปทดสอบกับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการให้เหมาะสมกับผู้เรียน

2.1 การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

แผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ต่าง ๆ ได้แก่ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยมีขั้นตอนในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ต่าง ๆ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และดัดแปลงให้เหมาะสมกับการเรียนการสอนของบทปฏิบัติการในระดับปริญญาตรี

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดความรู้หลังเรียน โดยนำผลการวิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้ของบทปฏิบัติการมาสร้างเป็นแบบทดสอบแบบปรนัยชนิดถูกผิดและให้เหตุผลประกอบ (อโณทัย ดาทอง; และคนอื่น ๆ. 2558: 19; อ้างอิงจาก Harika; et al. 2012) ซึ่งแบบทดสอบได้มีการออกแบบ ดังนี้ ขั้นที่ 1 First-tier ให้ตอบตัวเลือกถูกหรือผิด ขั้นที่ 2 Second-tier ให้อธิบายเหตุผล จำนวนข้อสอบทั้งหมดมี 7 ข้อ และมีการออกแบบทดสอบอัตนัยจำนวน 1 ข้อ ตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านความเข้าใจ และด้านการนำไปใช้

3. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง โดยมีคำถามปลายเปิดในการสัมภาษณ์ จำนวน 4 ข้อ ดังนี้

คำถามข้อที่ 1 ปฏิบัติการที่เรียนไปมีกี่การทดลอง อะไรบ้าง

คำถามข้อที่ 2 ลองอธิบายการทดลองที่ลงมือทำ และการทดลองมีวิธีการทดสอบสารใดบ้าง และได้ทดสอบอะไรเพิ่มเติม แล้วทราบผลการทดลองเรื่องอื่น ๆ ได้อย่างไร

คำถามข้อที่ 3 จากผลการทดลองที่ได้ลงมือทำ ลองบอกว่าการทดลองใดเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

คำถามข้อที่ 4 มีอะไรจะเสนอแนะ หรือบอกความรู้สึกหลังจากเรียนปฏิบัติการนี้แล้ว

4. สร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน จำนวน 15 ข้อ ตามวิธีของ วิศิษฐ์ศรี โต-ศุกลวรรณ์ (2556: 47-48) โดยแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และด้านความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาสอน โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) ดังนี้ 5 4 3 2 1 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และพึงพอใจน้อยที่สุด ตามลำดับ

5. นำแผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบและแก้ไขก่อนส่งให้ผู้เชี่ยวชาญ (ภาคผนวก ค) เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ของการเรียนรู้ จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีคุณภาพในวัดผลทางการศึกษา

2.2 การนำบทปฏิบัติการและเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ไปทดสอบกับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา

การนำบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ไปทดสอบกับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษาซึ่งเป็นผู้เรียนระดับปริญญาตรีที่ได้จากการชักตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) เพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

1. คุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้แก่

1.1 ค่าความยาก-ง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดความรู้หลังเรียน เพื่อคัดเลือกแบบทดสอบไปใช้ในการเก็บข้อมูลในวัดผลการเรียนกับกลุ่มที่ศึกษา

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ของแบบทดสอบ โดยใช้วิธีหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation coefficient) ระหว่างคะแนนรายข้อกับคะแนนรวม

1.3 ค่าความสอดคล้องระหว่างบทปฏิบัติการกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการกำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

2. คุณภาพของแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ได้แก่

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาคของแบบทดสอบโดยใช้วิธีหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย เช่นเดียวกับการหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดความรู้หลังเรียน

2.2 ค่าความสอดคล้องระหว่างความพึงพอใจของผู้เรียนกับจุดประสงค์การประเมิน โดยมีการกำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

3. คุณภาพของแบบสัมภาษณ์ โดยตรวจสอบความชัดเจนของภาษา ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การในการสัมภาษณ์ โดยมีการกำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอนกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา

นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ที่ผ่านการประเมินคุณภาพ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และความสอดคล้อง (IOC) มาประกอบการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

3.1 กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการทดสอบสอน

กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการชีววิทยา

พื้นฐาน ชว191 มาแล้ว แต่ยังไม่เคยเรียนปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ จำนวน 34 คน โดยใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบเจาะจง

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ การเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
2. ความก้าวหน้าทางการเรียน
3. ความเข้าใจของผู้เรียนต่อบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
4. การพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

3.3 ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบสอน

ผู้วิจัยทดสอบสอนกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

3.4 การขอจริยธรรมสำหรับการวิจัยในมนุษย์

ดำเนินการขอใบจริยธรรมสำหรับการวิจัยในมนุษย์ จากสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อขออนุญาตใช้มนุษย์ในโครงการวิจัยและเก็บข้อมูลการทำวิจัยครั้งนี้ (ภาคผนวก ก)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้การวิจัย

1. บทปฏิบัติการ วิเคราะห์คุณภาพของบทปฏิบัติการตามองค์ประกอบของบทปฏิบัติการทั้ง 7 ข้อ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยคุณภาพในแต่ละด้านและแปลความหมายค่าเฉลี่ยของบทปฏิบัติการโดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

1.00-1.80 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพน้อยที่สุด

1.81-2.60 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพน้อย

2.61-3.40 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพปานกลาง

3.41-4.20 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพมาก

4.21-5.00 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพมากที่สุด

และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการกับจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรมของการเรียนรู้ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

2. วิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือทางการศึกษา ได้แก่

2.1 แบบทดสอบ วิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงของเนื้อหา ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรม วิเคราะห์หาค่าความยาก-ง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาคของแบบทดสอบ โดยหาวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างคะแนนรายข้อกับคะแนนรวม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

2.2 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง วิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงของเนื้อหา ค่าดัชนีความสอด-คล้อง (IOC) ของข้อคำถามกับจุดประสงค์การสัมภาษณ์

2.3 แบบสำรวจความพึงพอใจ วิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงของเนื้อหา ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างความพึงพอใจของผู้เรียนกับจุดประสงค์การประเมิน ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาคของแบบสำรวจความพึงพอใจ โดยหาวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย

3. วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ ได้แก่

3.1 การวิเคราะห์ผลการเรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ผลการเรียน โดยข้อสอบแต่ละข้อคิดเป็น 2 คะแนน (ตอบตัวเลือกถูกและให้เหตุผลถูก ให้อย่างละ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน) นำคะแนนมาวิเคราะห์ด้วยสถิติทีแบบผู้เรียนไม่เป็นอิสระต่อกัน (*t*-test for dependent samples)

3.2 วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียน ด้วยวิธี average normalized gain (Hake. 1998) ซึ่งมีวิธีการหาค่าความก้าวหน้าทางการเรียนและแปลความหมายของข้อมูล ดังนี้

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

คะแนนเฉลี่ย 0.00-0.30 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนอยู่ในระดับต่ำ (Low gain)

คะแนนเฉลี่ย 0.31-0.69 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain)

คะแนนเฉลี่ย 0.70-1.00 แปลว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนอยู่ในระดับสูง (High gain)

3.3 วิเคราะห์ระดับความเข้าใจของผู้เรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยวิเคราะห์จากข้อสอบปรนัย (ตอบตัวเลือกและให้เหตุผล) ของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตอบตัวเลือกถูก = correct และตอบตัวเลือกผิด = incorrect

ขั้นที่ 2 ให้เหตุผลถูก = correct และให้เหตุผลผิด = incorrect และไม่ให้เหตุผล = no reason

จากนั้นจำแนกความเข้าใจของผู้เรียน (อโณทัย ดาทอง; และคนอื่น ๆ. 2558: 21) ดังนี้

CC หมายถึง ตอบตัวเลือกถูก และตอบเหตุผลถูก

CI หมายถึง ตอบตัวเลือกถูก และตอบเหตุผลผิด

CN หมายถึง ตอบตัวเลือกถูก และไม่ตอบเหตุผล

IC หมายถึง ตอบตัวเลือกผิด และตอบเหตุผลถูก

II หมายถึง ตอบตัวเลือกผิด และตอบเหตุผลผิด

IN หมายถึง ตอบตัวเลือกผิด และไม่ตอบเหตุผล

3.4 วิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยวิเคราะห์จากข้อสอบอัตนัย (นิตติยา ถวิลถึง. 2557: 74-75; อ้างอิงจาก Haidar. 1997) ดังนี้

ข้อสอบแต่ละข้อคิดเป็น 1 คะแนน (ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน) โดยมีคะแนนเต็ม 4 คะแนน (การเปลี่ยนแปลงพลังงาน 1 คะแนน ความแตกต่างหรือความเหมือนของปฏิกิริยา 1 คะแนน สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา 1 คะแนน และการประยุกต์ใช้ 1 คะแนน) จากนั้นนำกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มาดัดแปลงค่าคะแนนเพื่อให้ทราบระดับการเรียนรู้หลังเรียน โดยสรุปภาพรวมได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าคะแนนสำหรับการวิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

คะแนน	แนวคิด	ภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	ปฏิกิริยาเคมี	ซับสเทรต / สารผลิตภัณฑ์	การประยุกต์ใช้
4	SC	✓	✓	✓	✓
3	PC	✓	✓	✓	×
2	PC&CM	✓	✓/×	✓/×	×
1	CM	✓	×	×	×
0	NR	×	×	×	×

เกณฑ์การจัดกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (ดัดแปลงจาก นิตติยา ถวิลถึง. 2557: 19)

กลุ่มที่ 1 คือ ตอบได้ถูกต้องครบทั้ง 4 ข้อ จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific conception, SC)

กลุ่มที่ 2 คือ ตอบได้ถูกต้อง 3 ข้อ จัดอยู่ในกลุ่มเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial conception, PC)

กลุ่มที่ 3 คือ ตอบได้ถูกต้อง 2 ข้อ จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (partial conception & complete misconception, PC&CM)

กลุ่มที่ 4 คือ ตอบได้ถูกต้อง 1 ข้อ จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (complete misconception: CM)

กลุ่มที่ 5 คือ ตอบไม่ได้ จัดอยู่ในกลุ่มไม่มีแนวคิด (No response: NR)

4. ประเมินความรู้ ความเข้าใจของผู้เรียนโดยการสัมภาษณ์ เป็นการประเมินผลการเรียนรู้เชิงคุณภาพ

5. วิเคราะห์ระดับความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นสำหรับสอนด้วยวิธีสร้างความรู้ด้วยตนเอง ด้วยค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้เรียนในแต่ละด้านและแปลความหมายค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ดังนี้

1.00-1.80 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

1.81-2.60 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย

2.61-3.40 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง

3.41-4.20 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก

4.21-5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอน

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

1.1 ทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ โดยแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียว และระยะเวลาที่ใช้ศึกษาการหายใจของถั่วเขียว (คือ 0, 60 และ 120 นาที) (ตาราง 2) พบว่าชนิดของสารผลิตภัณฑ์ คือ CO_2 เมื่อทดสอบถั่วเขียวจำนวน 50 เมล็ด ในระยะเวลาที่ 60 และ 120 นาที พบว่าปริมาณ CO_2 ที่ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 N ที่เวลา 120 นาที มีค่าสูงสุดแต่เนื่องจากระยะเวลาทดสอบที่ 60 นาที ให้ผลการทดสอบที่ชัดเจน และใช้เวลาสั้นกว่า 120 นาที จึงเลือกทดสอบการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว 50 เมล็ด และใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 60 นาที เพื่อสร้างเป็นบทปฏิบัติการต่อไป โดยใช้เมล็ดถั่วเขียวต้ม 50 เมล็ดเป็นกลุ่มควบคุมให้ผลลบ (negative control)

ตาราง 2 จำนวนหยดของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทดสอบหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ของการหายใจแบบใช้ออกซิเจนโดยแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียวและระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

จำนวนเมล็ดถั่วเขียวงอก (เมล็ด)	จำนวนหยดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (หยด) ที่ทดสอบในระยะเวลาต่างกัน		
	0 นาที	60 นาที	120 นาที
0	0	0	0
10	0	2	4
20	0	4	7
30	0	6	10
40	0	8	15
50	0	12	20
เมล็ดถั่วเขียมต้ม 50 เมล็ด	0	0	0

1.2 ทดสอบอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียวและระยะเวลาในการทดสอบอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (ตาราง 3) พบว่า เมื่อใช้เมล็ดถั่วเขียวจำนวน 50 เมล็ดในการทดสอบการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ได้ปริมาณ CO_2 สูงสุด และเมื่อ $Ca(OH)_2$ จับ CO_2 ในหลอดทดลองไว้ มีผลทำให้เกิดการแทนที่อากาศในช่องว่างใต้สำลีด้วยน้ำ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เมล็ดถั่วเขียว 50 เมล็ดและระยะเวลาในการทดสอบ 60 นาที น้ำจะเคลื่อนที่เข้าไปในหลอดทดลอง 2.46 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมกับเวลาที่ใช้เรียน ดังนั้นจึงเลือกภาวะดังกล่าวในการสร้างบทปฏิบัติการต่อไป โดยเปรียบเทียบกับเมล็ดถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ด ซึ่งใช้เป็นกลุ่มควบคุมให้ผลลบ อัตราการหายใจของเมล็ดถั่วเขียวที่ใช้ในการทดสอบนี้ คือ การเพิ่มขึ้นของสารผลิตภัณฑ์ (CO_2) ต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อ $Ca(OH)_2$ จับ CO_2 จะทำให้ความดันภายในหลอดทดลองน้อยกว่าความดันภายนอกหลอดทดลอง จึงมีผลทำให้น้ำภายนอกหลอดทดลองเข้าไปแทนที่ในช่องว่างใต้สำลีจนความดันภายนอกและภายในหลอดทดลองมีค่าเท่ากัน น้ำจึงหยุดเข้าแทนที่ ปริมาตรของน้ำที่เข้าไปแทนที่นี้มีค่าเท่ากับปริมาตรของ CO_2 ที่จับกับ $Ca(OH)_2$ ไป

ตาราง 3 ปริมาตรน้ำที่เคลื่อนที่เข้าไปในหลอดทดลองในการทดสอบอัตราการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว โดยแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียว และระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

จำนวนเมล็ดถั่วเขียวงอก (เมล็ด)	ปริมาตรน้ำที่เคลื่อนที่เข้าไปในหลอดทดลอง (เซนติเมตร) ที่ทดสอบในระยะเวลาต่างกัน		
	0 นาที	60 นาที	120 นาที
0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.2	0.4
20	0.0	0.3	0.6
30	0.0	0.5	1.0
40	0.0	0.8	1.6
50	0.0	1.4	2.8
เมล็ดถั่วเขียมต้ม 50 เมล็ด	0.0	0.0	0.0

1.3 ทดสอบความร้อนและน้ำที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการออกแบบโดยใช้สำลีแผ่น ตัดให้มีขนาด 1 × 1 ตารางเซนติเมตร จากนั้นชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v) และอบให้แห้ง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของคอปเปอร์ซัลเซตเมื่อได้รับน้ำ และวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อเกิดความร้อนจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ผลการทดลอง (ตาราง 4) พบว่า เมล็ดถั่วเขียวงอกมีการหายใช้แบบใช้ออกซิเจน และคายพลังงานความร้อนออกมาจากเมล็ดถั่วเขียว ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเมล็ดถั่วเขียวต้มที่อยู่ภายในกล่องโฟม อุณหภูมิภายในกล่องโฟมคงที่เพื่อรักษาสมดุลของระบบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉพาะส่วนที่ต้องการศึกษา และการหายใจแบบใช้ออกซิเจนมีการคายน้ำออกมา ซึ่งจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของคอปเปอร์ซัลเฟตจากสีขาวเป็นสีฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่า การสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของคอปเปอร์ซัลเฟตชัดเจนเมื่อการทดลองดำเนินไป 60 นาที ดังนั้นจึงภาวะที่เหมาะสมในการศึกษานี้ไปใช้ในการสร้างบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

ตาราง 4 การทดสอบน้ำและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เมล็ดถั่วเขียว	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			สีของสำลีชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต		
	0 นาที	60 นาที	120 นาที	0 นาที	60 นาที	120 นาที
เมล็ดถั่วเขียวงอก	30	31	31	สีขาว	สีฟ้า	สีฟ้า
เมล็ดถั่วเขียวต้ม	30	30	30	สีขาว	สีขาว	สีขาว
ภายในกล่องโฟม	29	29	29	สีขาว	สีขาว	สีขาว

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ภาวะขาดแคลนออกซิเจน)

ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของยีสต์ในภาวะจำกัดออกซิเจน ดังนี้

2.1 ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

จากการทดสอบการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ในระยะเวลา 60 นาที (ตาราง 5) พบว่า ปริมาณยีสต์ที่ใช้ 1 กรัมต่อสารละลายซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5 ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูได้อย่างชัดเจน สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของยีสต์ คือ CO_2 เมื่อไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N เพื่อหาปริมาณ CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำ ในระยะเวลา 60 นาทีของการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ พบว่า จำนวนหยดของสารละลาย NaOH เท่ากับ 62 หยด และคำนวณปริมาณ CO_2 ได้เท่ากับ 3.1 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ปริมาณยีสต์ 1 กรัมในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นระยะเวลา 60 นาทีในการสร้างบทปฏิบัติการ

ตาราง 5 ปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

ปริมาณยีสต์ (กรัม)	จำนวนหยดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (หยด) เมื่อเลี้ยงในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างกัน				
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2	ร้อยละ 3	ร้อยละ 4	ร้อยละ 5
0	0	0	0	0	0
1	32	45	51	57	62
2	63	68	72	75	78
3	72	75	81	86	88
4	80	86	87	89	90
5	85	88	90	102	105

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์นอกจากจะได้ CO_2 เป็นสารผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีสารผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้น ได้แก่ สารละลายเอทานอล (C_2H_5OH) ซึ่งได้ออกแบบการทดลองให้มีการเปรียบเทียบระหว่างการหายใจแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ โดยใช้ประสาทสัมผัส คือ การดมกลิ่น ด้วย

2.2 หาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

จากการทดลองที่ผ่านมา เลือกใช้ปริมาณยีสต์ 1 กรัมในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5 เพื่อหาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ โดยวัดปริมาตรของ CO_2 ที่เข้าไปแทนที่น้ำในปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร จนหมด พบว่า เวลาที่ใช้ในการแทนที่น้ำด้วย CO_2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 3 นาที ดังนั้นอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์จึงมีค่าเท่ากับ 1.67 มิลลิลิตรต่อนาที

2.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยออกแบบการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมให้ผลลบ 2 ชนิด คือ สารละลายน้ำตาลซูโครสอุ่นที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียสและน้ำประปา พบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5 ที่เติมยีสต์ลงไป 1 กรัมมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส หลังจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองแสดงในตาราง 6 จึงเลือกใช้เวลา 60 นาทีในการสร้างบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

ตาราง 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

ชุดทดสอบ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	0 นาที	60 นาที
ยีสต์ในสารละลายน้ำตาลซูโครส	31	32
สารละลายน้ำตาลซูโครส	31	30
น้ำประปา	30	30

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการใช้สารตั้งต้นของการสังเคราะห์ด้วยแสงและหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนี้

3.1 ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก

จากการเป่าลมหายใจออก (มี CO_2 เป็นองค์ประกอบ) ในน้ำที่มีสารละลายโบรโมไทมอลบลู (สีน้ำเงิน) จนเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกในสารละลายดังกล่าว และแปรผันปัจจัย 2 ประเภท ได้แก่ ระยะเวลาในการทดสอบ (ได้แก่ 0, 60, 120 นาที) และการให้แสง (ได้แก่ การให้และไม่ให้แสง) (ตาราง 3) พบว่า หลอดทดลองที่ให้แสงสว่าง CO_2 ลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อเวลา 60 นาที และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์จากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำสารละลายในหลอดทดลองที่ให้แสงมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.05 N ได้จำนวนหยดของกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 22 หยด จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณ CO_2 ที่สาหร่ายหางกระรอกใช้ในการสังเคราะห์แสง มีปริมาณเท่ากับ 1.1 มิลลิลิตร ซึ่งจำนวนโมลของการใช้ CO_2 สมดุลกับจำนวนของ O_2 ดังนั้นเมื่อทำการทดลองในระบบปิด ปริมาณ CO_2 ที่ใช้ไปจะมีค่าเท่ากับปริมาณ O_2 ที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่า ปริมาณ O_2 ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับปริมาณ CO_2 ที่ใช้ไป คือ มีค่าเท่ากับ 1.1 มิลลิลิตร จากการทดลองนี้จึงเลือกระยะเวลา 60 นาที เพื่อนำมาสร้างเป็นบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

ตาราง 7 ปริมาณ CO_2 ที่สาหร่ายหางกระรอกใช้ไปในการสังเคราะห์ด้วยแสง

หลอดทดลอง	จำนวนหยดของสารละลายไฮโดรคลอริก (หยด)		
	0 นาที	60 นาที	120 นาที
ให้แสงสว่าง	0	22	40
ไม่ให้แสงสว่าง	0	0	0
หลอดควบคุม (ให้แสง)	0	0	0

3.2 หาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

จากการทดสอบอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยแปรผันความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ และชนิดของพืชในระยะเวลา 15 นาที (ตาราง 8) พบว่า สารละลาย $NaHCO_3$ เข้มข้นร้อยละ 1 เพียงพอที่จะทำให้สังเกตผลการทดลองได้อย่างชัดเจน ($p < 0.05$) และชิ้นส่วนของใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ได้แก่ วาสนา พลับพลึง และก้ามกุ้งสีทอง) เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่าชิ้นส่วนของใบพืชใบเลี้ยงคู่ (ได้แก่ ชบา กระดังงาจีน และชมพูพันธุ์ทิพย์) ดังนั้นจึงเลือกสารละลาย $NaHCO_3$ เข้มข้นร้อยละ 1 เพื่อใช้ในการสร้างบทปฏิบัติการต่อไป และจากการทดสอบชนิดของพืชที่แตกต่างกัน พบว่า พืชที่นำมาศึกษาสามารถเป็นตัวอย่างที่ดีในการทดสอบหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย จึงใช้สารละลาย $NaHCO_3$ เข้มข้นร้อยละ 1 และใช้พืชที่นำทดสอบนี้เป็นตัวอย่างสำหรับศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อนำไปสร้างบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

ตาราง 8 จำนวนชิ้นตัวอย่างใบพืชที่ลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำภายในเวลา 15 นาทีและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชตัวอย่าง

ชนิดของพืช	จำนวนชิ้นใบพืชที่ลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ (ชิ้น) ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตแตกต่างกัน[3,4]				
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2	ร้อยละ 3	ร้อยละ 4	ร้อยละ 5
วาสนา[1]	9 (0.03a)	9 (0.03b)	10 (0.03b)	10 (0.03b)	10 (0.03b)
พลับพลึง[1]	9 (0.03a)	10 (0.03b)	10 (0.03b)	10 (0.03b)	10 (0.03b)
ก้ามกุ้งสีทอง[1]	8 (0.04a)	9 (0.03b)	10 (0.03b)	10 (0.03b)	10(0.03b)
ชบา[2]	1 (0.30a)	2 (0.15b)	3 (0.10b)	3 (0.10b)	4 (0.08b)
กระดังงาจีน[2]	3 (0.10a)	4 (0.08b)	6 (0.05b)	8 (0.04b)	8 (0.04b)
ชมพูพันธุ์ทิพย์[2]	1 (0.30a)	2 (0.15b)	2 (0.15b)	3 (0.10b)	3 (0.10b)

หมายเหตุ [1]ตัวอย่างพืชใบเลี้ยงเดี่ยว [2]ตัวอย่างพืชใบเลี้ยงคู่

[3]อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง $(mL/min/cm^2) = \frac{\text{เวลา } 15 \text{ min}}{\text{จำนวนชิ้นใบพืช}} \times \frac{\text{ปริมาตร } 1 \text{ mL}}{\text{ปริมาตร } 50 \text{ mL}}$

[4]วิเคราะห์โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่ม (randomized complete block design, RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีพิสัยพหุคูณของดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test, DMRT) ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวแถวเหมือนกัน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนอักษรภาษาอังกฤษในแนวแถวแตกต่างกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกัน

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

จากการออกแบบบทปฏิบัติการในตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่เห็นผลชัดเจนที่สุดในแต่ละภาวะของการทดสอบ มาเขียนเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยมีการทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ (1) การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (2) การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และ (3) การสังเคราะห์ด้วยแสง และมีองค์ประกอบครบตามลักษณะของบทปฏิบัติการที่ดี จากนั้นนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อปรับแก้เนื้อหาและขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญให้ประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพอยู่ในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (4.23)

2.1 การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้และเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้

ผู้วิจัยออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีสร้างความรู้ด้วยตนเอง และเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ต่าง ๆ ได้แก่ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง จากนั้นนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อปรับแก้เนื้อหา ดำเนินการขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญให้ประเมินความสอดคล้องภายในระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับแบบทดสอบรายข้อ พบว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจำนวน 8 ข้อ (ข้อที่1-7 ปรนัยถูกผิดและให้เหตุผล ข้อที่ 8 อัตนัย) มีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.0 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างจำนวน 4 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.0 และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง จำนวน 15 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.0

2.2 การนำบทปฏิบัติการและเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ไปทดสอบกับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา

จากการนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ไปทดสอบใช้กับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา ได้แก่ นิสิตหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต (กศ.บ. 5 ปี) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์-ชีววิทยา เพื่อความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และค่าความเชื่อมั่นของแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน พบว่า แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ในช่วง 0.34-0.80 และมีค่าอำนาจจำแนกรายข้อ (r) ตั้งแต่ 0.20-0.74 มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.56 จากนั้นคัดเลือกแบบทดสอบทั้งหมด จำนวน 8 ข้อ เพื่อนำไปใช้ในการขั้นตอนต่อไป และค่าความเชื่อมั่นของแบบสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนมีค่าเท่ากับ 0.77

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอนกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

จากการนำบทปฏิบัติการและเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษาซึ่งเป็นผู้เรียนหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ชั้นปีที่ 2 จำนวน 34 คน (ตาราง 9) พบว่า ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 3.52±1.07 และมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 9.41±2.66 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียนโดยใช้สถิติ *t*-test for dependent samples พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.05$) แสดงว่า บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น

ตาราง 9 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

คะแนน	จำนวนผู้เรียน	Mean	SD	*t*	*p*-value
ก่อนเรียน	34	3.52	1.07	–11.95	0.00
หลังเรียน	34	9.41	2.66		(1.53×10^{-13})

3.2 วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน (normalized gain) ของผู้เรียนซึ่งเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น

เมื่อนำคะแนนก่อนและหลังเรียนของผู้เรียนแต่ละคนมาคำนวณค่าความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล (single student normalized gain) และรายชั้นเรียน (class normalized gain) ด้วยของวิธีของ Hake (1998) (ตาราง 10) พบว่า ผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับสูง จำนวน 10 คน ในระดับปานกลางจำนวน 18 คน และในระดับต่ำจำนวน 6 คน ส่วนค่าความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียนมีค่าเท่ากับ 0.56 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีผู้เรียนจำนวน 21 คนที่มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนสูงกว่าค่าความก้าวทางการเรียนรายชั้นเรียน

ตาราง 10 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

คนที่	ความก้าวหน้าทางการเรียน	คนที่	ความก้าวหน้าทางการเรียน	คนที่	ความก้าวหน้าทางการเรียน
1	0.64	13	0.82	25	0.54
2	0.73	14	0.67	26	0.00
3	0.45	15	0.64	27	0.90
4	0.20	16	0.60	28	0.40
5	0.58	17	0.50	29	0.11
6	0.20	18	0.20	30	0.45
7	0.73	19	0.78	31	0.62
8	0.45	20	0.69	32	0.50
9	0.64	21	0.80	33	0.80
10	0.80	22	1.00	34	0.27
11	0.64	23	0.60		
12	0.64	24	1.00		
ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเท่ากับ 0.56					

3.3 วิเคราะห์ระดับความเข้าใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยน-แปลงพลังงาน

เมื่อวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนจากคะแนนสอบของข้อสอบแบบตัวเลือกสองลำดับขั้น (two-tier test) เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน รายข้อคำถาม (ตาราง 11) ได้ผลการศึกษา ดังนี้

คำถามข้อที่ 1 (การเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิต) ผู้เรียนตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) ในการสอบก่อนเรียนเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 73.52 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) ถึงร้อยละ 97.05 แสดงว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตถูกต้องมากขึ้น

ตาราง 11 ความเข้าใจของผู้เรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ก่อนเรียนและหลังเรียน

N = 34

ข้อ	ร้อยละความเข้าใจของผู้เรียนต่อการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน											
	CC		IC		CI		II		CN		IN	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	0.00	97.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.94	26.47	0.00	73.52	0.00
2	0.00	82.30	0.00	0.00	11.76	8.82	0.00	0.00	64.70	2.94	23.52	5.88
3	0.00	47.05	0.00	0.00	8.82	5.88	0.00	0.00	41.17	0.00	50.00	47.05
4	0.00	55.88	0.00	0.00	2.94	20.58	0.00	0.00	26.47	2.94	70.58	20.58
5	0.00	47.05	0.00	0.00	2.94	5.88	0.00	0.00	20.58	2.94	76.47	44.12
6	0.00	32.35	0.00	0.00	5.88	11.76	0.00	2.94	61.76	5.88	32.35	47.05
7	70.58	67.64	0.00	0.00	0.00	8.82	0.00	0.00	2.94	0.00	26.47	23.52
เฉลี่ย	10.08	61.39	0.00	0.00	4.62	8.82	0.00	0.84	34.87	2.10	50.41	26.88

หมายเหตุ CC = ตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก, CI = ตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลผิด,
CN = ตอบตัวเลือกถูกและไม่ตอบเหตุผล, IC = ตอบตัวเลือกผิดและตอบเหตุผลถูก,
II = ตอบตัวเลือกผิดและตอบเหตุผลผิด, IN = ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล

คำถามข้อที่ 2 (การเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิต) ผู้เรียนตอบตัวเลือกถูกและไม่ตอบเหตุผล (CN) ในการสอบก่อนเรียนเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 67.70 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) ถึงร้อยละ 82.30 แสดงว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตถูกต้องมากขึ้น

คำถามข้อที่ 3 (สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา) ในการสอบก่อนเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่จัดอยู่ใน 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ตอบตัวเลือกถูกและไม่ตอบเหตุผล (CN) คิดเป็นร้อยละ 41.47 และ (2) ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) คิดเป็นร้อยละ 50.00 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) มากขึ้น คิดเป็นร้อยละ 47.05 แต่ยังคงมีผู้เรียนที่ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) อยู่ร้อยละ 47.05 แสดงว่า ผู้เรียนเกินกว่าครึ่งหนึ่งของชั้นเรียนมีความเข้าใจในเรื่องสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน แต่ยังคงมีผู้เรียนกลุ่มใหญ่ (ร้อยละ 47.05) ที่ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับเรื่องสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

คำถามข้อที่ 4 (ทักษะปฏิบัติการ) ในการสอบก่อนเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) คิดเป็นร้อยละ 70.58 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนตอบตัว-

เลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) มากขึ้น คิดเป็นร้อยละ 58.88 และมีผู้เรียนตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลผิด ร้อยละ 20.64 แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนแสดงทักษะปฏิบัติการถูกต้องมากขึ้น

คำถามข้อที่ 5 (สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา) ในการสอบก่อนเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) คิดเป็นร้อยละ 76.47 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) มากขึ้น คิดเป็นร้อยละ 47.05 แต่ยังมีผู้เรียนตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผลถึงร้อยละ 44.12 แสดงว่า ผู้เรียนเกินกว่าครึ่งหนึ่งของชั้นเรียนมีความเข้าใจในเรื่องสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน แต่ยังคงมีผู้เรียนกลุ่มใหญ่ (ร้อยละ 44.12) ที่ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับเรื่องสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

คำถามข้อที่ 6 (ทักษะปฏิบัติการ) ในการสอบก่อนเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกถูกและไม่ตอบเหตุผล (CN) คิดเป็นร้อยละ 61.76 และยังมีผู้เรียนที่ตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผล (IN) อยู่ร้อยละ 32.35 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนตอบตัวเลือกถูก (CC + CI + CN) มากขึ้นคิดเป็นร้อยละ 49.99 แต่ยังมีผู้เรียนตอบตัวเลือกผิดและไม่ตอบเหตุผลถึงร้อยละ 47.05 แสดงว่าผู้เรียนอย่างน้อยครึ่งชั้นเรียนมีความเข้าใจทักษะปฏิบัติการเพิ่มขึ้น

คำถามข้อที่ 7 (ความเหมือนหรือความแตกต่างของปฏิกิริยา) ในการสอบก่อนเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่ตอบตัวเลือกถูกและตอบเหตุผลถูก (CC) คิดเป็นร้อยละ 70.58 หลังจากเรียนด้วยบทปฏิบัติการนี้แล้ว ผู้เรียนตอบตัวเลือกถูก (CC + CI) คิดเป็นร้อยละ 76.46 แสดงว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถบอกความเหมือนหรือความแตกต่างของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ แต่บางส่วนตอบเหตุผลผิด (CI = 8.82)

3.4 วิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน หลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

จากการวิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้ข้อสอบอัตนัย ภายหลังจากเรียนบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นแล้ว พบว่า ผู้เรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific conception: SC) มีจำนวน 16 คน (ร้อยละ 47.05) ผู้เรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial conception, PC) มีจำนวน 14 คน (ร้อยละ 41.17) ผู้เรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial conception & complete misconception: PC&CM) มีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 5.88) ผู้เรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (complete misconception: CM) มีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 5.88) และไม่มีผู้เรียนไม่ตอบคำถาม (no response: NR) แสดงว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ถูกต้องมากขึ้น ทั้งในเรื่องชนิดของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ความเหมือนหรือความแตกต่างของปฏิกิริยา สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา และการประยุกต์ใช้ เมื่อ

พิจารณารายแนวคิด พบว่า ผู้เรียนที่ตอบแนวคิดเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 97.05 ผู้เรียนที่ตอบแนวคิดเกี่ยวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 70.58 ผู้เรียนที่ตอบแนวคิดเกี่ยวกับความเหมือนหรือความต่างของปฏิกิริยาได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 70.58 และผู้เรียนที่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้มีจำนวนมากถึงร้อยละ 91.17 แสดงให้เห็นว่า หลังจากเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นร่วมกับการสอนแบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง จำนวนผู้เรียนที่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องมากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

ตาราง 12 การจำแนกกลุ่มผู้เรียนตามแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

คนที่	ข้อสอบอัตนัย				คะแนนรวม (เต็ม 4 คะแนน)	กลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์
	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4		
1	1	1	1	1	4	SC
2	1	1	1	1	4	SC
3	1	1	0	1	3	PC
4	0	0	1	1	2	PC&CM
5	1	0	0	0	1	CM
6	1	0	0	0	1	CM
7	1	1	1	1	4	SC
8	1	1	0	1	3	PC
9	1	1	1	0	3	PC
10	1	1	1	1	4	SC
11	1	0	1	1	3	PC
12	1	0	1	1	3	PC
13	1	1	1	1	4	SC
14	1	1	0	1	3	PC
15	1	0	1	1	3	PC
16	1	1	1	1	4	SC
17	1	1	1	1	4	SC
18	1	0	1	1	3	PC
19	1	0	1	1	3	PC
20	1	0	1	1	3	PC
21	1	1	1	1	4	SC

ตาราง 12 (ต่อ)

คนที่	ข้อสอบอัตนัย				คะแนนรวม	กลุ่มแนวคิดเชิง
	ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4	(เต็ม 4 คะแนน)	วิทยาศาสตร์
22	1	1	1	1	4	SC
23	1	1	1	1	4	SC
24	1	1	1	1	4	SC
25	1	1	1	1	4	SC
26	1	1	0	1	3	PC
27	1	1	1	1	4	SC
28	1	1	0	1	3	PC
29	1	1	0	1	3	PC
30	1	1	0	1	3	PC
31	1	1	1	1	4	SC
32	1	1	1	1	4	SC
33	1	1	1	1	4	SC
34	1	0	0	1	2	PC&CM
เฉลี่ย	97.0%	70.5%	70.5%	91.1%		

3.5 ผลการสัมภาษณ์ผู้เรียนหลังจากเรียนปฏิบัติการเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่พัฒนาขึ้น

หลังจากการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่ใช้วิธีการสอนแบบสร้างความรู้ด้วยตนเองแล้ว ผู้วิจัยสัมภาษณ์วิชาการเชิงลึกเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน โดยชักตัวอย่างผู้เรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน แบบสุ่มเชิงเดียว (simple random sampling) กลุ่มละ 2 คน มาสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานมากขึ้น ตัวอย่างผลการสัมภาษณ์เป็นดังนี้ (R หมายถึง ผู้สัมภาษณ์ และ S หมายถึง ผู้ถูกสัมภาษณ์)

R_1: ปฏิบัติการที่เรียนไปมีกี่การทดลอง อะไรบ้าง

S_1: ทำ 3 การทดลองครับ มีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการสังเคราะห์ด้วยแสง

S_2: มี 3 การทดลอง เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสง

S_3: มี 3 การทดลอง เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสง

S_4: มี 3 การทดลอง เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสง

S_5: มี 3 การทดลอง เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสง

S_6: มี 3 การทดลอง เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสง

R_2: ลองอธิบายการทดลองที่ลงมือทำ และการทดลองมีวิธีการทดสอบสารใดบ้าง และได้ทดสอบอะไรเพิ่มเติม แล้วทราบผลการทดลองเรื่องอื่น ๆ ได้อย่างไร

S_1: ผมทำการหายใจของยีสต์ เป็นการทดสอบ CO_2 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลูจนเปลี่ยนสี มีการไทเทรตหาปริมาณ CO_2 และวัดอุณหภูมิด้วย ทราบผลการทดลองเรื่องอื่นจากเพื่อนอธิบาย

S_2: ผมทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว เป็นการวัด CO_2 ที่ได้จากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลู และมีการวัดอุณหภูมิด้วย ทราบผลการทดลองเรื่องอื่นจากเพื่อนอธิบาย

S_3: ทำการหายใจของยีสต์ เพื่อทดสอบปริมาณ CO_2 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลูจนเปลี่ยนสี มีการไทรเตรทหาปริมาณ CO_2 และวัดอุณหภูมิด้วย ทราบผลการทดลองเรื่องอื่นจากเพื่อนอธิบาย

S_4: ทำการหายใจของยีสต์ เพื่อทดสอบปริมาณ CO_2 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลูจนเปลี่ยนสี มีการไทรเตรทหาปริมาณ CO_2 และวัดอุณหภูมิด้วย ทราบผลการทดลองเรื่องอื่นจากเพื่อนอธิบาย

S_5: หนูทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว ตอนที่ 1.1 เป็นการทดสอบ CO_2 ที่ได้จากการหายใจโดยให้ทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเล็กน้อย ทราบผลการทดลองเรื่องอื่น ๆ จากเพื่อนอธิบายภายในกลุ่ม

S_6: ผมทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว ทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ แล้วทำให้ดูดน้ำเข้าไปในหลอดทดลอง เพื่อนทำการทดลองวัดพลังงานจากการหายใจ ทราบผลการทดลองเรื่องอื่นจากเพื่อนอธิบาย

R_3: จากผลการทดลองที่ได้ลงมือทำ ลองบอกว่าการทดลองใดเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

S_1: ผมทำการหายใจของยีสต์ เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และปฏิกิริยาดูดพลังงานเป็นการสังเคราะห์ด้วยแสง

S_2: ผมทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียวซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และปฏิกิริยาดูดพลังงานเป็นการสังเคราะห์ด้วยแสง

S_3: ทำการหายใจของยีสต์ เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และปฏิกิริยาดูดพลังงานเป็นการสังเคราะห์ด้วยแสง

S_4: ทำการหายใจของยีสต์ เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และปฏิกิริยาดูดพลังงานเป็นการสังเคราะห์ด้วยแสง

S_5: หนูทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ส่วนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปฏิกิริยาดูดพลังงาน

S_6: ผมทำการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ส่วนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปฏิกิริยาดูดพลังงาน

R_4: มีอะไรจะแนะนำ หรือหลังจากที่ได้เรียนปฏิบัติการนี้ไปแล้วรู้สึกอย่างไรบ้าง

S_1: ผมว่าเป็นแลปที่อุปกรณ์ง่ายๆ แต่เห็นผลการทดลองจริง มันน่าจะดีกับน้อง ๆ ที่จะได้เรียนต่อไป มีเพื่อนในกลุ่มคนหนึ่งบอกว่า น่าจะมีการพัฒนาออกแบบการทดลองแบบนี้ไปใช้ตรวจสอบสิ่งมีชีวิตบนดาวอังคารดู (การพัฒนานำไปใช้)

S_2: ผมว่าแลปมันก็โอเคนะครับ อุปกรณ์ง่ายดี ทำแลปไม่ครบทุกการทดลอง ถ้าทำครบจะได้ความรู้มากกว่านี้ครับ

S_3: การทดลองเรื่องยีสต์ วิธีทำอาจจะยาก เช่น การใช้ปิเปตดูดน้ำสีเข้ามา ทำให้ส่งผลต่อการทดลอง แต่พอฟังเพื่อนอธิบายผลแล้ว มันทำให้เข้าใจกว่าตอนที่เรียน ปี 1 (แลปเดิม)

S_4: หนูชอบวิธีการ Design ใบไม้ลอยขึ้นมา มันตอบโจทย์เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีวิธีการนำสารตั้งต้น (CO_2) เข้าไปข้างใน โดยใช้การแพร่ของสารละลาย เป็นการทดลองที่ดีมาก ๆ หนูชอบแลปนี้ค่ะ แต่หนูไม่ได้ทำเห็นจากของเพื่อน มันโอเค ดีใจแทนน้อง ๆ ด้วยค่ะ

S_5: หนูว่ามันเป็นแลปที่อุปกรณ์ง่ายๆ แต่วัดผลได้จริง ชอบวิธีการออกแบบการทดลอง หลังจากที่ทำการทดลองแล้วทำให้เข้าใจปฏิกิริยามากขึ้นกว่าตอนที่เรียนมาตั้งแต่ปีหนึ่ง

S_6: เวลาที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างนาน แลปนี้จะเกิดผลดีมากถ้าได้ทำทุกการทดลอง ผมชอบวิธีการออกแบบการทดลองที่ดูดน้ำเข้าไปในหลอดทดลอง เพราะมีความรู้ทั้ง 3 วิชา เชื่อมโยงกัน ฟิสิกส์เกี่ยวกับความดันภายในหลอดทดลองและจากข้างนอก เคมีเกี่ยวกับสมการเคมี และชีววิทยา หลังจากที่ได้เรียนไปแล้วทำให้เห็นภาพว่าเกิดผลการทดลองจริง ๆ เห็นว่าเกิด CO_2 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำสีโบรโมไทมอลบลูจนเปลี่ยนสีจริง ๆ ทำให้ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือมองไม่เห็นภาพมันชัดเจนขึ้น ต่อไปนี้มันจะเกิด ความจำขึ้น ถ้าพูดถึงเรื่องนี้ก็จะนึกภาพออก

3.6 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีสอนแบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

จากการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยน-แปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองทั้งสองด้าน ได้แก่ ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ผู้เรียนพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองในระดับมาก (3.97±0.65) ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการได้ลงมือทำปฏิบัติการและมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากโดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.26±0.75 และ 4.29±0.57 ตามลำดับ ส่วนด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น ผู้เรียนมีความพึงพอใจมีความพึงพอใจในระดับมาก (3.88±0.63) โดยผู้เรียนให้ความคิดเห็นในองค์ประกอบย่อยทุกเรื่องอยู่ในระดับมาก ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นร่วมกับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ความพึงพอใจผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	
ด้านการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง	$\bar{x}$±SD	**แปลผล**
1. ผู้เรียนได้ความรู้เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	3.94±0.60	มาก
2. การนำเข้าสู่บทเรียนทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ อยากรู้อยากเห็นในเรื่องที่จะเรียน	3.59±0.57	มาก
3. ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง	4.26±0.75	มากที่สุด
4. ผู้สอนให้คำปรึกษาและช่วยเหลือผู้เรียนอย่างเพียงพอ สำหรับทำการทดลอง	4.09±0.66	มาก
5. ผู้เรียนได้วิเคราะห์วิจารณ์ผลการทดลองกับเพื่อนภายในกลุ่ม	3.74±0.66	มาก
6. ผู้เรียนได้อภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและโต้แย้งอย่างมีเหตุผลระหว่างเพื่อนและผู้สอน	3.94±0.69	มาก
7. ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ เช่น การลงมือปฏิบัติ การสรุปผล และร่วมอภิปรายผลการทดลอง	4.29±0.57	มากที่สุด
8. การจัดกิจกรรมโดยการลงมือปฏิบัติจริง ทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้หรือ	4.00±0.73	มาก

ตาราง 13 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	
ด้านการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง	$\bar{x}$±SD	แปลผล
ประสบการณ์เดิมของผู้เรียนได้		
9. ผู้เรียนสรุปความรู้และสามารถนำความรู้ที่ได้จากการทดลองไปใช้เพื่อพัฒนาความรู้วิชาชีววิทยาต่อไปได้	3.88±0.68	มาก
ค่าเฉลี่ย	**3.97±0.65**	**มาก**
ด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น		
1. การทดลองสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทปฏิบัติการ	4.15±0.50	มาก
2. รูปแบบการทดลองสามารถใช้อธิบายผลของการทดลองได้	4.00 ±0.69	มาก
3. ผู้เรียนสามารถดำเนินการตามวิธีการทดลองในบทปฏิบัติการได้	3.68±0.72	มาก
4. บทปฏิบัติการสามารถฝึกพัฒนาทักษะทางความคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้	3.79±0.64	มาก
5. บทปฏิบัติการเน้นพัฒนาทักษะการทำการทดลองของผู้เรียน	3.97±0.62	มาก
6. ปฏิบัติการช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตได้	3.74±0.66	มาก
ค่าเฉลี่ย	**3.88±0.63**	**มาก**

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยสรุปผลการศึกษา ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เรื่องที่ 1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

1.1 ทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียว (0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด) และระยะเวลาในการทดสอบการหายใช้แบบใช้ออกซิเจน (0, 60 และ 120 นาที) พบว่า จำนวนเมล็ดถั่วเขียวที่ให้ผลการทดสอบการหายใจได้ดี คือ 50 เมล็ด และเมื่อไทเทรตสารผลิตภัณฑ์ คือ CO_2 โดยการไทเทรตด้วยสารลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N ภายหลังจากถั่วเขียวใช้เวลาหายใจแล้ว 60 นาที ให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ (สารละลายโบรโมไทมอลบลู) ได้ชัดเจน ปริมาณ NaOH ที่ใช้ไทเทรตได้เท่ากับ 12 หยด คำนวณเป็นปริมาณ CO_2 ได้เท่ากับ 0.6 มิลลิลิตร จึงเลือกใช้จำนวนเมล็ดถั่วเขียว 50 เมล็ดและระยะเวลาในการทดสอบ 60 นาทีเพื่อใช้สร้างบทปฏิบัติการต่อไป

1.2 ทดสอบหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการแปรผันจำนวนเมล็ดถั่วเขียว (0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมล็ด) และระยะเวลาในการทดสอบการหายใช้แบบใช้ออกซิเจน (0, 60 และ 120 นาที) เพื่อทดสอบอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของเมล็ดถั่วเขียว พบว่า จำนวนเมล็ดถั่วเขียวที่เหมาะสมเท่ากับ 50 เมล็ด และระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบการหายใจที่เห็นผลได้ชัด คือ 60 นาที สามารถหาอัตราการหายใจได้เท่ากับ 2.46 มิลลิลิตรต่อ 60 นาทีต่อเมล็ดถั่วเขียว 50 เมล็ด จึงเลือกใช้ถั่วเขียวจำนวน 50 เมล็ด และระยะเวลาในการหาอัตราการหายใจ 60 นาที เพื่อใช้สร้างบทปฏิบัติการต่อไป

1.3 ทดสอบความร้อนและน้ำที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

จากการแปรผันระยะเวลาในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานและน้ำที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (0, 60 และ 120 นาที) พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจ สอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการทดสอบการเกิดน้ำด้วยสำลีชุบสารละลาย $CuSO_4$ อบแห้ง คือ 60 นาที เพื่อใช้สร้างบทปฏิบัติการต่อไป

จากผลการทดลองข้อ 1.1 – 1.3 สรุปได้ว่า จำนวนเมล็ดถั่วเขียวและระยะเวลาที่เหมาะสม

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน สารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์ และอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน คือ 50 เมล็ด และ 60 นาทีตามลำดับ และออกแบบให้ตัวควบคุมให้ผลลบของการทดลอง คือ ถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ดเท่ากับถั่วเขียวงอกที่ใช้ทดสอบ ซึ่งจะนำไปใช้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

เรื่องที่ 2 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.1 ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

จากการทดสอบการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ในระยะเวลา 60 นาที โดยแปรผันปริมาณยีสต์ (0, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม) และความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญของยีสต์ (ร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5) พบว่า สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือ CO_2 และภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบชนิดและปริมาณของ CO_2 คือ ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 และปริมาณยีสต์ 1 กรัม ซึ่งเมื่อไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH สามารถคำนวณปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 3.1 มิลลิลิตร/60 นาที จึงเลือกใช้ภาวะดังกล่าวในการสร้างบทปฏิบัติการต่อไป

2.2 หาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

จากการทดสอบการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ โดยสร้างเป็นระบบปิดและให้แก๊ส CO_2 เข้าไปแทนที่สารละลายโบรโมไทมอลบลูในปิเปต สามารถหาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ได้เท่ากับ 1.67 มิลลิลิตรต่อนาที และนำไปใช้สร้างบทปฏิบัติการต่อไป

2.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

ในการทดสอบนี้เป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับตัวควบคุมให้ผลลบ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายน้ำตาลซูโครสที่อุ่นที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียสและน้ำประปา พบว่ายีสต์ในหลอดใช้น้ำตาลซูโครสในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้สามารถทดสอบสารผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่ง คือ เอทานอล ซึ่งเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ได้โดยการดมกลิ่น จึงนำต้นแบบการทดลองนี้ไปใช้สร้างบทปฏิบัติการต่อไป

จากผลการทดลองข้อ 2.1 - 2.3 สรุปได้ว่า ปริมาณยีสต์และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน สารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์ และอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ใช้ยีสต์ 1 กรัม และสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมีตัวควบคุมให้ผลลบ 2 ชนิด คือ สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ไม่เติมยีสต์และน้ำประปา ซึ่งจะนำไปใช้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

เรื่องที่ 3 การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

3.1 ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก

เมื่อเติมสารตั้งต้น (CO_2) จากลมหายใจออก ลงในสารละลายโบรโมไทมอลบลูจนเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง และแปรผันระยะเวลาในการทดลอง (0, 60 และ 120 นาที) และการให้แสง (ให้และไม่ให้แสง) พบว่า ระยะที่เหมาะสมในการทดสอบการใช้ CO_2 ที่เห็นผลชัดเจน คือ 60 นาที และเมื่อทดสอบการสังเคราะห์ด้วยแสงในภาวะมีและไม่มีแสง พบว่า แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก เมื่อสาหร่ายหางกระรอกได้รับแสงและใช้ CO_2 เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยภาวะทดลองดังกล่าวนี้ สามารถคำนวณอัตราการใช้ CO_2 (ซึ่งเท่ากับอัตราการเพิ่มของ O_2 โดยอนุมาน) ได้เท่ากับ 1.1 มิลลิลิตรใน 60 นาที ดังนั้นจึงเลือกทดสอบปัจจัยของการให้แสง และระยะเวลา 60 นาที ในการสร้างบทปฏิบัติการต่อไป

3.2 หาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาโดยแปรผันความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ (ร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5) และชนิดของพืชตัวอย่าง (พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ วาสนา พลับพลึง ก้ามกุ้ง สีทอง และพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ชบา กระดังงาจีน และชมพูพันธุ์ทิพย์) เพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในเวลา 15 นาที พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ คือ ร้อยละ 1 และพืชทุกชนิดที่นำมาศึกษาสามารถหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในหน่วย $mL/min/cm^2$ ได้ จึงเลือกความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ ร้อยละ 1 เพื่อใช้ในการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการต่อไป

จากผลการทดลองข้อ 3.1 – 3.2 สรุปได้ว่า ในการทดสอบการใช้สารตั้งต้น (CO_2) ในการสังเคราะห์ด้วยแสงใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 60 นาที และมีการแปรผันการให้แสง โดยมีสารละลายโบรโมไทมอลบลูที่ไม่ได้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกเป็นตัวควบคุมให้ผลลบ และเมื่อต้องการหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงใช้สารละลาย $NaHCO_3$ ในการเพิ่มปริมาณ CO_2 ให้กับชิ้นส่วนของพืชที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งจะนำไปใช้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรีต่อไป

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ผู้วิจัยสร้างบทปฏิบัติการโดยอิงพื้นฐานข้อมูลการศึกษาในตอนที่ 1 เพื่อใช้จัดการเรียนรู้ในรายวิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 (ชว 191) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้ 120 นาที โดยระยะเวลาของทุกการทดลองที่ออกแบบไว้ คือ 60 นาที และใช้วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่มีราคาถูก หาง่ายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยทั่วไป และใช้ปริมาณสารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน นี้แบ่งออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ (1) การหายใจแบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียว (2) การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ และ (3) การสังเคราะห์ด้วยแสงของ

สาหร่ายหางกระรอก ในขั้นตอนนี้ได้สร้างเครื่องมือวัดประเมินผลการเรียนรู้ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง ได้แก่ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบตอบคำถามสองลำดับขั้น (two-tier test) จำนวน 7 ข้อคำถาม และอีก 1 ข้อคำถาม เป็นแบบอัตนัย ซึ่งใช้วัดความถูกต้องของความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ แบบสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียน และแบบสอบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง เพื่อประเมินความเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์เชิงลึก บทปฏิบัติการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และผ่านผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและคุณภาพของบทปฏิบัติการ วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ วิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อคำถามในการสัมภาษณ์ผู้เรียน และปรับปรุงจนมีผลดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.0 และนำไปใช้กับกลุ่มผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา (ได้แก่ นิสิตหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์-ชีววิทยา ชั้นปีที่ 4) เพื่อหาค่าความยากง่ายและอำนาจในการจำแนกของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 0.34-0.80 และ 0.20-0.74 ตามลำดับ มีสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาคเท่ากับ 0.56 และค่าความเชื่อมั่นของแบบสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนมีค่าเท่ากับ 0.77 จากนั้นจึงนำบทปฏิบัติการและเครื่องมือไปใช้ทดสอบกับกลุ่มที่ศึกษาต่อไป

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอน

จากการนำบทปฏิบัติการไปทดสอบสอนกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งเป็นนิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ชั้นปีที่ 2 จำนวน 34 คน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น โดยมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และนำคะแนนมาวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล พบว่า ผู้เรียนจำนวน 10 คน มีระดับความ ก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง ผู้เรียนจำนวน 18 คน มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง และผู้เรียนจำนวน 6 คนมีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ โดยมีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียนเท่ากับ 0.56 และมีผู้เรียนจำนวน 20 คนที่มีก้าวหน้าทางการเรียนสูงว่าความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน

เมื่อวิเคราะห์ความเข้าใจระดับความเข้าใจของผู้เรียนโดยใช้แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดปรนัยจำนวน 7 ข้อ สรุปโดยภาพรวมได้ว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจถูกต้อง (CC) เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน (ร้อยละ 10.08) เป็นร้อยละ 61.39 เมื่อวิเคราะห์การพัฒนาการเรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนชนิดอัตนัย พบว่า ผู้เรียนจัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (SC) มีจำนวน 16 คน (ร้อยละ 47.05) ผู้เรียนจัด

อยู่ในกลุ่มเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) มีจำนวน 14 คน (ร้อยละ 41.17) ผู้เรียนจัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&CM) มีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 5.88) ผู้เรียนจัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (CM) มีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 5.88) และไม่มีผู้เรียนที่ตอบคำถามไม่ได้ (NR)

จากการสัมภาษณ์ผู้เรียนที่ได้จากการชักตัวอย่างแบบสุ่มเชิงเดียว จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 2 คน จากผู้เรียนทั้งหมด 34 คน พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถตอบคำถามได้ว่า บทปฏิบัติการที่เรียนมีกี่การทดลองและสามารถบรรยายถึงขั้นตอนและวิธีการทำการปฏิบัติการ และติดตามผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถระบุชนิดของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตได้ ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากการลงมือทำปฏิบัติการด้วยตนเองและร่วมกันอภิปรายหาคำตอบกับผู้เรียนในกลุ่มที่แบ่งกันทำแต่ละการทดลองได้ นอกจากนี้ผู้เรียนยังมีความเข้าใจเกี่ยวกับผลการทดลองที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นกว่าการทำปฏิบัติการเดิมเคยเรียนเมื่ออยู่ชั้นปีที่ 1 และมีผู้ถูกสัมภาษณ์ 1 คน สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากการทำปฏิบัติการ และร่วมกันสรุปผลในใบสรุปผลกิจกรรมระหว่างผู้เรียนด้วยกันเองในกลุ่มและผู้สอนได้ จึงมีความเข้าใจปฏิกิริยาต่าง ๆ ในภาพรวมได้ ส่งผลให้มีความรู้สึกที่ดีต่อการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ด้วย

ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาสอน โดยจำแนกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจทั้ง 2 ด้านอยู่ในระดับมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองเท่ากับ 3.97±0.65 และมีคะแนนเฉลี่ยด้านบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้นเท่ากับ 3.88±0.63

อภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นบทปฏิบัติการที่จะนำไปใช้แทนที่ (replacement) แบบปฏิบัติการเดิม (วิเชียร มากตุ่น; และธวัช ดอนสกุล, 2549) ที่ใช้มาเป็นระยะเวลานาน บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ช่วยให้ผู้เรียนศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยให้ผู้เรียนสามารถจำแนกปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบพลังงานความร้อน ได้แก่ ปฏิกิริยาดูดพลังงาน และปฏิกิริยาคายพลังงาน นอกจากนี้ในบทปฏิบัติการยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจสารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์ การหาปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ รวมถึงอัตราการหายใจแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย บทปฏิบัติการนี้แบ่งออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ การหายใจ

แบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียว การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ และการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก

จากภาพรวมของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา คือ การหายใจระดับเซลล์ และการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ระหว่างการหายใจและการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังในภาพประกอบ 3

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightleftharpoons 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy}$$

ภาพประกอบ 3 ภาพรวมสมการการหายใจและการสังเคราะห์ด้วยแสง

หลักคิดในการออกแบบการทดลอง คือ ต้องให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยตนเองและอภิปรายร่วมกันจนทราบว่า สารใดคือสารตั้งต้น สารใดคือสารผลิตภัณฑ์ และการคำนวณปริมาณหรืออัตราต่าง ๆ ของทุกการทดลอง การทดลองที่ออกแบบขึ้นเลือกใช้สาระลายโบรโมไทมอลบลู ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ในช่วงระหว่างกรดอ่อนถึงเบสอ่อน มีช่วง pH อยู่ระหว่าง 6.0 ถึง 7.6 (Ebbing; & Gammon, 2007) การทดสอบแต่ละเรื่อง เลือกทดสอบสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่สามารถตรวจสอบได้ ได้แก่ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ในการทดลองที่ 1.1, 2.1 และ 3.1) น้ำ (ในการทดลองที่ 1.3) และเอทานอล (ในการทดลองที่ 2.3) สำหรับการตรวจสอบอัตราการหายใจและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสามารถตรวจสอบได้ 2 แบบ ได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงใน 1 หน่วยเวลา และปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นใน 1 หน่วยเวลา (Saltveit, 2015; Sheridan, 2015) ในการทดลองที่ 1.2 เลือกตรวจสอบสารผลิตภัณฑ์ของการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (CO_2) ในเวลา 60 นาที และในการทดลองที่ 2.2 เป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ (ภาพประกอบ 4) เลือกตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของสารผลิตภัณฑ์ (CO_2) ในเวลา 60 นาที เช่นเดียวกับการทดลองหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของเมล็ดถั่วเขียว ส่วนในการทดลองที่ 3.2 เลือกทดสอบอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรวจสอบการใช้สารตั้งต้น (CO_2) ในเวลา 60 นาทีต่อหน่วยพื้นที่ของขนาดของชิ้นส่วนใบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทั้งในการทดลองที่ 1.2, 2.2 และ 3.2 เป็นการตรวจสอบ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง จึงใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลูชนิดเดียวเป็นอินดิเคเตอร์ตลอดทั้งบทปฏิบัติการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{yeast}]{\text{fermentation}} 2CO_2 + 2C_2H_5OH + \text{energy}$$

ภาพประกอบ 4 สมการการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

สำหรับการวัดปริมาณสารผลิตภัณฑ์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 1.2 ผู้วิจัยเลือกใช้สำลีชุบสารละลาย $Ca(OH)_2$ เพื่อดักจับ CO_2 ที่เกิดขึ้นและทำให้เกิดเกลือ $CaCO_3$ (Lackner; Grimes; & Ziock, 2015) เกาะอยู่ในสำลี จึงทำให้เกิดความไม่สมดุลกันของความดันอากาศภายนอกและภายในหลอดทดลอง เมื่อความดันอากาศภายนอกมากกว่าภายในหลอดทดลอง น้ำที่อยู่ภายนอกหลอดทดลองจึงถูกดันเข้าไปในหลอดทดลองที่มีสีผสมอาหารแต้มอยู่สูงจากปลายหลอดประมาณ 0.5 เซนติเมตร จึงเกิดสีของน้ำภายในหลอดทดลองแยกออกจากน้ำภายนอกหลอดทดลอง ปริมาตรของน้ำที่อยู่ในหลอดทดลองมีค่าเท่ากับปริมาตรของ CO_2 ที่ถั่วเขียวใช้ไปในเวลา 60 นาที จึงคำนวณอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียวได้จากการเกิดสารผลิตภัณฑ์ภายในเวลา 60 นาที

สำหรับการทดลองที่ 1.3 เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีการคายพลังงานความร้อนออกมาในการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียว ตามทฤษฎีกฎทรงพลังงาน ข้อที่ 2 (สมเกียรติ พรพิ-สุทธิมาศ, 2557) อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นตามผลการทดลองที่ได้ ส่วนการวัดสารผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่ง คือ น้ำ ผู้วิจัยใช้คุณสมบัติของจุนสีสตุหรือคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ มีสีขาว แต่เมื่อจุนสีสตุได้รับน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) หรือจุนสี ดังนั้นในการทดลองที่ 1.3 สังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของจุนสีสตุจากสีขาวเป็นสีฟ้า เมื่อเกิดการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียว จึงสรุปได้ว่า การหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้สารผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่ง คือ น้ำ

ในการทดลอง เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ ผู้วิจัยออกแบบวัดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ (CO_2) โดยต่อสายยางเข้ากับปิเปตที่มีสารละลายโบรโมไทมอลบลูอยู่ภายใน เมื่อยีสต์หายใจแล้วเกิดแก๊ส CO_2 ซึ่งจะเข้าไปในสายยางและดันสารละลายโบรไมไทมอลบลูให้เคลื่อนที่ออกจากปิเปต ปริมาตรสารละลายโบรโมไทมอลบลูที่ไหลออกจากปิเปตในระยะเวลาที่จับได้จากการทดลอง จึงนำไปคำนวณหาอัตราการเกิดสารผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลา หรืออัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั่นเอง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เช่นเดียวกับการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของถั่วเขียว นอกจากนี้ในการทดลองที่ 2.3 ยังสามารถทดสอบสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจของยีสต์อีกชนิดได้ คือ เอทานอล โดยการดมกลิ่น

สำหรับการหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำได้โดยหาปริมาณสารตั้งต้น (CO_2) ต่อหน่วยเวลาต่อพื้นที่ชิ้นส่วนของใบ ซึ่งสามารถหาได้เช่นเดียวกับการหาอัตราการหายใจทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

หลังจากออกแบบบทปฏิบัติการในตอนที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยเลือกการเขียนแผนจัดการเรียนรู้แบบย้อนกลับ (backward design) (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2551) โดยพิจารณาสมรรถนะของผู้เรียน

ควรมี หลังจากจบการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน จากนั้นจึงเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ จะเห็นได้ว่า ในตอนที่ 1 การออกแบบการทดลองให้มีระยะเวลาในการเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 60 นาทีนั้นเหมาะสมต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาปฏิบัติการชีววิทยา 1 ซึ่งมีระยะเวลาในการสอน 120 นาที แผนการจัดการเรียนรู้ที่เขียนเป็นการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการและใช้วิธีจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเองสอดคล้องกับที่พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (2542) กำหนดไว้ การออกแบบบทปฏิบัติการและเครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัยมีการวัดผลในเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและปรับแก้จนมีค่าความสอดคล้องกับจุดประสงค์เท่ากับ 1.0 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สุชาดา พ่อไชยราช; และ สุภาพร พรไตร (2558) และเมื่อนำไปบทปฏิบัติการและเครื่องมือวิจัยไปทดสอบกับกลุ่มผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา ผู้วิจัยเลือกแบบทดสอบที่มีอำนาจจำแนกและความยากง่ายในช่วงที่กว้าง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เป็นเนื้อหาชีวเคมีที่จัดอยู่ในหัวข้อยาก (Vella, 1990) จึงต้องเลือกทั้งยากและง่ายปนกันให้มากที่สุดเพื่อจะได้ทราบถึงผลการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบสอน

จากการนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาไปใช้ประกอบการเรียนการสอนกับผู้เรียนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้รูปแบบการสอนแบบให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง เพื่อต้องการให้ผู้เรียนได้ลงมือทำการทดลองด้วยตนเองประกอบกับการออกแบบใบบันทึกกิจกรรมการทดลอง เพื่อพัฒนากระบวนการทางความคิดของผู้เรียนเองจึงได้มีการสร้างคำถามท้ายการทดลองเพื่อใช้ประกอบเป็นแนวทางในการเชื่อมโยงคำตอบที่ได้จากการทดลอง และกระบวนการที่สำคัญผู้วิจัยได้มีการจัดกิจกรรมระหว่างการเรียนโดยให้สรุปผลการทดลอง อภิปรายผลการทดลองและเขียนสรุปผลลงในใบบันทึกกิจกรรมและได้มีการสรุปผลและอภิปรายผลร่วมกันโดยผู้สอนเพื่อให้ผู้เรียนสามารถสรุปความคิดรวบยอดจากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ ทำให้ได้ผลการศึกษาของผู้เรียนหลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาประกอบกับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเพิ่มสูงขึ้นและมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูงและปานกลางเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏฐณิชา โพธิ์งาม; และสุระ วุฒิพรหม (2553); บุญรอด ชาติยานนท์ (2557); วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ์ (2556) เมื่อพิจารณาความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต พบว่า มีผู้เรียนที่เรียนปฏิบัติการผ่านไปแล้วมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น และมีผู้เรียนที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับความเหมือนหรือความแตกต่างของชนิดปฏิกิริยา และความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

เพิ่มขึ้นปานกลาง แต่ยังมีผู้เรียนที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับทักษะการทำการทดลองที่เกี่ยวข้องการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตจำนวนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เพิ่มสูงขึ้นและผู้เรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ที่ระดับสูงและปานกลางจำนวนมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ นิตติยา ถวิลถึง (2557) และผลการวิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียนโดยใช้ข้อสอบอัตนัย ผลการวิจัยพบว่า มีผู้เรียนที่จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (SC) มีจำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 47.05 และมีผู้เรียนที่จัดอยู่ในกลุ่มเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 41.17 และมีผู้เรียนที่จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&CM) จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 5.88 และมีผู้เรียนที่จัดอยู่ในกลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (CM) จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 5.88 แสดงว่า ผู้เรียนมีการพัฒนาการเรียนรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์กับเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับชนิดของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ความแตกต่างหรือความเหมือนของปฏิกิริยา สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาและการประยุกต์และการนำไปใช้เพิ่มขึ้นปานกลางและยังมีผู้เรียนที่เข้าใจและยังมีผู้เรียนที่เข้าใจแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน แนวคิดคลาดเคลื่อนจำนวนน้อย แต่ในภาพรวมแล้วผู้เรียนมีการพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น และจากการพิจารณาคะแนนเป็นรายข้อ พบว่า มีผู้เรียนที่ตอบถูกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน คิดเป็นร้อยละ 97.05 มีผู้เรียนที่ตอบถูกเกี่ยวกับความแตกต่างหรือความเหมือนของปฏิกิริยา คิดเป็นร้อยละ 70.58 มีผู้เรียนที่ตอบถูกเกี่ยวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา คิดเป็นร้อยละ 70.58 และมีผู้เรียนที่ตอบถูกเกี่ยวกับการประยุกต์และนำไปใช้คิดเป็นร้อยละ 91.17 แสดงให้เห็นว่ามีผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้หลังจากที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการไปแล้วเพิ่มสูงขึ้นจำนวนมาก สอดคล้องกับผลจากการสัมภาษณ์เพื่อประเมินความรู้และความเข้าใจที่ได้จากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถเชื่อมโยงคำตอบจากผลการทดลองได้และเกิดความเข้าใจที่ถูกต้องจากการพิสูจน์ผลจากการทดลอง และมีบางคนสามารถสรุปเป็นความคิดรวบยอดเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน มีการสร้างและพัฒนาเป็นความรู้ใหม่ที่ถูกต้อง และผลจากการสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมาและมีวิธีการสอนเพื่อให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจระดับพอใจมากต่อการเรียนในครั้งนี้ซึ่งเป็นผลที่ดีต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัยเรื่องนี้พิสูจน์ให้เห็นว่า การที่ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานขึ้นมาใหม่เพื่อใช้กับผู้เรียนในระดับปริญญาตรี มีการใช้เครื่องมือทางการวิจัยมาใช้เพื่อประเมินผลทางการเรียน พบว่า ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับความก้าวหน้าทางการเรียนที่มีผู้เรียนอยู่ในระดับสูงและ

ปานกลางเป็นจำนวนมากกว่าความก้าวหน้าทางการเรียนที่มีผู้เรียนในระดับต่ำ สอดคล้องกับเมื่อพิจารณาความรู้และเข้าใจหลังจากเรียนปฏิบัติการ พบว่า มีผู้เรียนที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นจำนวนมากเกี่ยวกับเรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และมีผู้เรียนที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นปานกลางเกี่ยวกับชนิดของปฏิกิริยา สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา และมีผู้เรียนที่มีความเข้าใจถูกต้องจำนวนน้อยเกี่ยวกับทักษะในการทำการทดลอง สอดคล้องกับผลคะแนนอัตนัยที่ใช้วิเคราะห์แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียน ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนมีการพัฒนาการเรียนรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์กับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ เกี่ยวกับชนิดของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ความแตกต่างหรือความเหมือนของปฏิกิริยา สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาและการประยุกต์และการนำไปใช้เพิ่มสูงขึ้นปานกลาง และยังมีผู้เรียนที่เข้าใจแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนจำนวนน้อย แต่ในภาพรวมแล้วผู้เรียนมีการพัฒนาความรู้ในเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับผลจากการสัมภาษณ์ผู้เรียน พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถระบุชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตได้ และสามารถอธิบายวิธีการทำการทดลองและวิธีการที่ใช้ทดสอบและสรุปผลการทดลองได้ แต่ยังพบว่ามีผู้เรียนจำนวน 2 คนจาก 6 คน ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้และความเข้าใจและมีความคิดที่ประยุกต์ใช้ได้และยังพบว่าผู้เรียน (ในกลุ่มอ่อน) ยังขาดทักษะในการทำการทดลอง แต่หลังจากสรุปผลการสัมภาษณ์โดยภาพรวม พบว่า ผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ที่อยู่ในการทดลองของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมา สอดคล้องกับผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาและการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และยังพบว่าผู้เรียนมีระดับความพึงพอใจมากที่สุดเกี่ยวกับการที่ได้ลงมือทำการทดลองด้วยตนเองและมีการสรุปผลและอภิปรายผลร่วมกับเพื่อนในกลุ่มซึ่งเป็นผลที่ดีต่อการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาสอน

ผลการทำวิจัยที่ได้จากเรื่องนี้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Piajet ที่เด็กที่มีอายุตั้งแต่ 11 ปีขึ้นไปมีการสร้างแนวคิดจากนามธรรม (formal operational stage) และสามารถคำนวณหรือสร้างสรรค์ความคิดด้วยการใช้เหตุผลและจินตนาการซึ่งเป็นผลมาจากการลงมือปฏิบัติ (ชนาธิป พรกุล. 2554) ซึ่งจากการที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติซึ่งจัดเป็นการเรียนจากรูปธรรมแล้วนำไปสู่การสรุปเป็นความรู้ความเข้าใจซึ่งจัดเป็นนามธรรม มีผลทำให้ผู้เรียนสามารถจดจำความรู้ไปได้นาน (บุญรอด ชาติยานนท์. 2556) การจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับแนวคิดของ Saunders (1992) ที่รายงานว่า การจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง ควรมีการลงมือปฏิบัติ

(hands-on) และการมีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ความเข้าใจ (active cognitive involvement) ซึ่งเป็นการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดและทำงานเป็นกลุ่ม เป็นการกระตุ้นความคิดของผู้เรียนสอดคล้องกับแนวคิดของ Vygotsky ที่กล่าวว่าการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนในกลุ่มยังเป็นส่วนหนึ่งที่จำเป็นต่อการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยผู้เรียนที่มีทักษะการคิดที่ดีกว่าจะช่วยผู้เรียนที่มีทักษะน้อยกว่าได้ และสามารถเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมและประสบผลสำเร็จในการทำการทดลองได้ สอดคล้องกับ Nwewi (2008) ที่รายงานว่า การเรียนการสอนวิชาชีววิทยาเป็นการการจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนสามารถค้นพบข้อเท็จจริงและสร้างความรู้ ความเข้าใจในเรื่องที่เรียนได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สอดคล้องกับ Nwagbo (2008) ที่รายงานว่า ในการเรียนการสอนวิชาชีววิทยาควรจัดกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองเพื่อพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยเรื่องนี้ สามารถที่จะพัฒนาต่อยอดเพื่อให้งานมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยยังขาดวิธีการทดสอบปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. การพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้เป็นนวัตกรรมทางการศึกษาได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2557, จาก http://graduateschool. bu.ac.th/tqf/images/pdf/tqfth

เกษม วัฒนชัย. (2545). *การปฏิรูปการศึกษาไทย*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2557, จาก http:// www.qa.kmutnb .ac.th/qa_news/2545/QANEW37_25451201

ชนาธิป พรกุล (2554). *การสอนกระบวนการคิด*: ทฤษฎีและการนำไปใช้. กรุงเทพฯ: วี พริ้นท์.

ฐาปนีย์ เมธีพลกุล. (2542). *การสำรวจปลาทะเลที่ท่าเทียบเรือประมงชุมพร เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยา เรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ณัฏฐณิชา โพธิ์งาม; และสุระ วุฒิพรหม. (2553, กรกฎาคม-ธันวาคม). การจัดการเรียนรู้จากปฏิบัติการเรื่อง อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะทางวิทยาศาสตร์. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 1(2): 75-84.

ดวงทิพย์ มูลมั่งมี; และ ช่อทิพย์ หล่อรุ่งเรือง. (2556). *ปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป*. กรุงเทพฯ: ธนะพัฒน์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิเคชั่น. หน้า 70-81.

ธนวรรณ โสมน้อย. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา*. สารนิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา: การสอนสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

นิตติยา ถวิลถึง. (2557). *การพัฒนาความสามารถในการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้นร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกเพื่อส่งเสริมแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมตอนปลายในหน่วยการเรียนรู้เรื่องการสืบพันธ์ของสัตว์*. ปริญญานิพนธ์ ศศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

บุญเกื้อ ควรหาเวช. (2545). *คู่มือผลิตรายการวิทยุกระจายเสียง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

บุญรอด ชาติยานนท์. (2557). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง การควบคุมวัชพืชโดยใช้สารสกัดจากใบพืช สำหรับนิสิตปริญญาตรี*. ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต ปร.ด. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ถ่ายเอกสาร.

ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์. (2545). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแปรรูปและทดสอบ เรื่อง สารอาหารในพืชสมุนไพร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ประวิตร ชูศิลป์. (2524). *หลักการประเมินผลวิทยาศาสตร์แผนใหม่.* กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำรา กรมการฝึกหัดครู. ถ่ายเอกสาร.

ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์; วิมลศิริ พรทวีวัฒน์; และ พงค์ศักดิ์ ขุนแร่. (2556) *ปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป.* กรุงเทพฯ: ธนะพัฒน์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิเคชั่น. หน้า 65-69.

เปลื้อง สุวรรณมณี. (2549). *ปฏิบัติการชีววิทยา 1.* ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. หน้า 31-39.

ผ่องฤดี พวงประดิษฐ. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย้อมด้ายฝ้ายด้วยสีธรรมชาติจากใบพืชตามความนิยมของท้องถิ่น.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พันธุ์ศักดิ์ พลสารัมย์. *การปฏิรูปการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา* สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2557, จาก http://www.edu.chula.ac.th/eduinfo/ed_resch/pansak

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง เทคนิคการแยกสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 หมวด 4 แนวการจัดการศึกษา มาตรา 22. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2557, จาก http://www.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/59/พรบ.การศึกษา%2042%20แก้ไข_4

พรทิพย์ วงศ์นาป่า. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตรศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

มนตรี แย้มกสิกร. (2551, ตุลาคม-2550, มกราคม). เกณฑ์ประสิทธิภาพในงานวิจัยและพัฒนาสื่อการสอน: ความแตกต่าง 90/90 Standard and E1/E2 .*วารสารศึกษาศาสตร์* 19(1): 1-16.

มคอ.1 (2554) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ. สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2557, จาก http: //cms2.swu.ac.th/Portals/155/ภาควิชาชีววิทยา/มคอ_%20(55)%20/ชีววิทยา/T1_2554

มคอ.2 (2555) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2557, จาก http://cms2.swu.ac.th/Portals/155/ภาควิชาชีววิทยา/มคอ_(55)ชี ว วิทยา/T2_BSc(Biology)_ผ่าน สกอ

วิเชียร มากตุ่น; และ ธวัช ดอนสกุล. (2549). *คู่มือปฏิบัติการชีววิทยา 1 (ชว 181)*. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ์. (2556) *การพัฒนาบทปฏิบัติการโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง เรื่อง โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก สำหรับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(ชีววิทยา) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2551). การสอนโดยเน้นทักษะกระบวนการ. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์* 8(1): 28-38.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2556). การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 4(1): 55-63.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2557). *เอกสารประกอบการสอนวิชา ชว 101 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน*. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทวิโรฒ.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2553). *แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). *คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

สิริภัทร์ พราหมณีย์. (2545) *ชีววิทยาปฏิบัติการ*. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 70-80.

สุชาดา พ่อไชยราช; และ สุภาพร พรไตร. (2558). การยกระดับความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้* 6(1): 46-56.

สุรพล วิหคไพบูลย์. (2543). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องการบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สุวัฒก์ นิยมค้า. (2531). *ทฤษฎีและทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: เจเนอรัลบุ๊คส์.

อโณทัย ดาทอง; และคนอื่นๆ. (2558) การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้แผนผังตัวยูในอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้* 6(1): 14-30.

อรอุมา ละมุล. (2541) *การพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อัฐวุฒิ คำแสน; และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2554, มกราคม-มิถุนายน). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการใช้ชุดกิจกรรมปรับปรุงคุณภาพดินและการเปลี่ยนแปลงของดินสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้* 2(1): 11-21.

Baker, E.; McGaw, B.; & Peterson, P. (2007). Constructivism and learning. *International Encyclopaedia of Education*. (3rd ed). Oxford: Elsevier.

Cakir, M. (2008, October). Constructivist Approaches to Learning in Science and Their Implications for Science Pedagogy: A Literature Review. *International Journal of Environmental & Science Education* 3(4): 193-206.

Ebbing, D. D., & Gammon, S. D. (2007). **General Chemistry**. 9th ed. Boston: Houghton Mifflin.

Glasson, G. E. (1989, February). The effects of hands-on and teacher demonstration laboratory methods on science achievement in relation to reasoning ability and prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching* 121(2): 26-31.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses: *American Journal of Physics*. 61(1): 64-74.

Hergenhahn, B. R. (1976). *An Introduction to Theories of Learning* . New Jersey: Prentice Hall.

Hoff, A. G. (1950). Secondary-School Science Teaching. New York: Wiley & Sons. p. 173-175.

Kendra, C. (2013a) *Background and Key Concepts of Piaget's Theory*. Retrieved March 2, 2013, from http://psychology.about.com/od/piagetstheory/a/keyconcepts.htm

Kendra, C. (2013b) *Background and Key Concepts of Piaget's Theory*. Retrieved March 2, 2013, from http://psychology.about.com/od/zindex/g/zone-proximal.htm

Khalid, A. (2012, March). Constructivist Vs Traditional: Effective Instructional Approach in Teacher Education. *International Journal of Humanities and Social Science*. 2(5): 120-177.

Lackner, K. S.; Grimes, P.; & Ziock, H. J. (2015). *Capturing carbon dioxide from air*. Retrieved March 10, 2015, from https://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/7b1.pdf

Nwagbo, C. R. (2008). Practical approach to effective teaching of local and major biotic communities (Biomes) to secondary school students, for sustainable development. *Science Teachers' Association of Nigeria (STAN) Biology Panel Series 2008*. pp. 41-55.

Nzewi, U. M. (2008). Practical approach to the effective teaching of ecological concepts for sustainable development. *Science Teachers' Association of Nigeria (STAN) Biology Panel Series 2008*.

Saltveit, M. E. (2015). *Measuring respiration*. Retrieved March 10, 2015, from http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-20.pdf

Saunders, W. (1992). The constructivist perspective: Implications and teaching strategies for science. School Science and Mathematics 92(3): 135-141.

Sheridan, C. (2015). *Respiration and photosynthesis in plants*. Retrieved March 10, 2015, from http://facweb.northseattle.edu/csheridan/photrespoxygen.pdf

Taraban, R.; et al. (2007, September). Effects of active-learning experiences on achievement, attitudes, and behaviors in high school biology. *Journal of Research in Science Teaching* 44(7): 960–979.

Vella, F. (1990). Difficulties in learning and teaching of biochemistry. *Biochemical Education 18*: 6-8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- หนังสือขออนุญาตใช้จริยธรรมในมนุษย์

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย โทร. 11013

ที่ ศธ 0519.38/ 1010 **วันที่** 30 เม.ย. 2558

เรื่อง ใบอนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ
(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)

ตามที่ ท่านได้ส่งโครงการวิจัย เพื่อขออนุญาตทำการวิจัยในมนุษย์ นั้น คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ได้พิจารณาและออกใบอนุญาตให้ท่าน ดังนี้

หนังสือรับรองเลขที่ SWUEC/E-069/2558 เรื่อง การพัฒนามโนมติที่ถูกต้อง เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ของผู้เรียนระดับปริญญาตรี

อนึ่งท่านต้องดำเนินการโครงการวิจัยตามที่ได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด หากมีการปรับเปลี่ยน/แก้ไขใดๆ ต้องนำเสนอคณะกรรมการเพื่อขออนุมัติก่อน และถ้าโครงการวิจัยนี้เสร็จสิ้นแล้ว ขอความกรุณาส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์(รูปเล่ม)ให้กับประธานคณะกรรมการจริยธรรมฯ จำนวน 1 เล่ม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

หมายเหตุ : ใบอนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์ ที่ท่านได้รับนี้ออกโดยคณะกรรมการจริยธรรมฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สามารถทำวิจัยได้เฉพาะภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หากท่านต้องการทำวิจัยในมนุษย์ ที่หน่วยงานภายนอก ท่านจะต้องขอใบอนุญาตการทำวิจัยฯ จากหน่วยงานภายนอกที่มีคณะกรรมการจริยธรรมฯ ด้วย

MF4Version1:15/7/2556

ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย

เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและใบยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC- 129/57E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การพัฒนามโนมติที่ถูกต้อง เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ของผู้เรียนระดับปริญญาตรี

ชื่อผู้วิจัยหลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารที่รับรอง:
1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
3. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาทบทวน

1. แบบเสนอโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 16 เม.ย. 2558
2. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 16 เม.ย. 2558
3. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 16 เม.ย. 2558

(ลงชื่อ).....

(อาจารย์ แพทย์หญิงจันทร์ทรา ตนันท์ยุทธวงศ์)

เลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E-069/2558

วันที่ให้การรับรอง : 19/04/2558

วันหมดอายุใบรับรอง : 19/04/2559

ภาคผนวก ข

- บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
- แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
(Energy Transformation)
สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี

จัดทำโดย
นายทรงกลด ใบยา
นิสิต กศ.ม.ชีววิทยา
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทปฏิบัติการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทำปริญญานิพนธ์
เรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการ
จัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับนิสิตปริญญาตรี

คำนำ

บทปฏิบัติการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับนิสิตปริญญาตรี โดยเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือค้นหาคำตอบจากการทำปฏิบัติการ บทปฏิบัติการนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

บทปฏิบัติการที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ ได้มีการออกแบบวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่หาง่ายและไม่เป็นอันตรายต่อผู้สอนและผู้เรียน ตลอดจนได้มีการออกแบบวิธีการทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ และเพื่อให้ได้บทปฏิบัติการที่เป็นประโยชน์สำหรับการเรียนการสอนทางชีววิทยาให้มากที่สุด

นายทรงกลด ใบยา
นิสิต กศ.ม.ชีววิทยา
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
(Energy Transformation)

พลังงานในสิ่งมีชีวิต หมายถึง ความสามารถในการทำงานและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ พลังงานจำแนกตามการใช้งานเพื่อการเคลื่อนที่ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ พลังงานสะสมที่ไม่ได้นำไปใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานศักย์ (potential energy) และพลังงานที่นำไปใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานจลน์ (kinetic energy) พลังงานศักย์สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานจลน์ได้เมื่อเซลล์หรือร่างกายเคลื่อนที่ไป อาหารที่เรารับประทานเข้าไปอาจอยู่ในรูปของสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน หรือสารอาหารอื่น ๆ ที่ไม่ให้พลังงาน สารอาหารต่าง ๆ ที่ย่อยแล้วนี้เก็บสะสมไว้ในรูปแบบพลังงานเคมี (chemical energy) ซึ่งยังไม่ได้ใช้ในการเคลื่อนที่จึงเป็นพลังงานศักย์รูปแบบหนึ่ง เมื่อเราเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ไป พลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้นั้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่งเรียกว่า พลังงานกล (mechanical energy) ในขณะที่เราออกกำลังกาย โมเลกุลแอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) ในกล้ามเนื้อเคลื่อนที่ไป ทำให้เกิดความอบอุ่นและมีเหงื่อไหลออกมา พลังงานเคมีที่อยู่ในร่างกายในรูปแบบสารอาหารจะเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อน (thermal energy) ซึ่งเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอะตอมหรือโมเลกุลอย่างสุ่มภายในเซลล์ พลังงานการแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์ไหลเวียนผ่านเข้ามาในโลกของเราไม่น้อยกว่า 13×10^{23} แคลอรี่ต่อปี ซึ่งพืช สาหร่ายเซลล์เดียวหรือแอลจี (algae) และแบคทีเรียบางชนิดมีรงควัตถุช่วยในการจับแสง (เช่น คลอโรฟิลล์) นำพลังงานเหล่านี้ไปใช้ในการสังเคราะห์อาหาร โดยทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเปลี่ยนแปลงไปเป็นโมเลกุลของสารเคมีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนขึ้น (เช่น น้ำตาล) เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง น้ำตาลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนจะจัดเรียงอะตอมใหม่และเก็บสะสมในรูปแบบของพลังงานเคมี (พลังงานศักย์) ที่พันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งสามารถสลายตัวกลับเป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้งานใหม่ได้ จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า พลังงานไม่สูญหายแต่อาจเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ได้ เรียกข้อเท็จจริงนี้ว่า กฎทรงพลังงาน ซึ่งเป็นกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (the first law of thermodynamics) การเปลี่ยนแปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งนั้น ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบ (disorder หรือ randomness) ของโมเลกุลภายในเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต และทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนที่ไม่ได้ใช้งาน (unusable energy) การเปลี่ยนแปลงพลังงานและสูญเสียพลังงานบางส่วนในรูปความร้อน เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบนี้เรียกว่า กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ (the second law of thermodynamics) หรือกฎของเอน

โทรปี (the law of entropy) กฎข้อที่สองนี้แสดงให้เห็นว่า ไม่มีกระบวนการใดที่มีประสิทธิภาพสูงจนสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ทั้งหมด (ร้อยละ 100) และส่วนใหญ่จะสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมในรูปแบบพลังงานความร้อน หรือในรูปแบบพลังงานแสง พลังงานเพียงร้อยละ 20-30 ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานกลและสูญเสียความร้อนออกไป เซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานจลน์ได้เพียงร้อยละ 40 ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม

ปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction) ในสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่สารตั้งต้นในปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง เรียกว่า ซับสเทรต (substrate) ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยการสลายหรือสร้างพันธะเคมีหรือเกิดทั้งสลายและสร้างพันธะเคมีในเวลาเดียวกัน และการเกิดปฏิกิริยาโดยทั่วไปเขียนได้ ดังสมการ

$$A + B \text{ (สารตั้งต้น)} \longrightarrow C + D \text{ (สารผลิตภัณฑ์)}$$

ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีการแลกเปลี่ยนพลังงานอยู่เสมอ ภายหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง การแลกเปลี่ยนพลังงานอาจมีผลทำให้พลังงานพันธะของสารผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าพลังงานของพันธะของสารตั้งต้น แสดงให้เห็นว่า การเกิดพันธะเคมีต้องมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงานออกจากระบบ ปฏิกิริยาใดสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว สารตั้งต้นมีพลังงานพันธะมากกว่าสารผลิตภัณฑ์และปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่เหลือออกมา เรียกปฏิกิริยานั้นว่า ปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction หรือ exothermic reaction) แต่หากปฏิกิริยาใดเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้วสารตั้งต้นมีพลังงานพันธะต่ำกว่าสารผลิตภัณฑ์ และต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยสร้างพันธะในสารผลิตภัณฑ์ เรียกปฏิกิริยานั้นว่า ปฏิกิริยาดูดพลังงาน (endergonic reaction หรือ endothermic reaction) ปฏิกิริยาดูดพลังงานเกิดยากกว่าปฏิกิริยาคายพลังงาน ซึ่งปฏิกิริยาคายพลังงานเปรียบเทียบได้กับการนำก้อนหินขึ้นไปวางบนยอดเขา (มีพลังงานศักย์สูงสุด) จากนั้นปล่อยให้กลิ้งลงมา (พลังงานศักย์เปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์) ส่วนปฏิกิริยาดูดพลังงานเปรียบเทียบได้กับการดันก้อนหินกลับขึ้นไปบนยอดเขาซึ่งต้องใช้พลังงานนอกระบบเข้าช่วย

ในบทปฏิบัติการนี้ นิสิตต้องค้นคว้า ทดลอง วิเคราะห์ และอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

หลังจากทำการทดลองแล้ว นิสิตต้องมีสมรรถนะดังต่อไปนี้ได้

1. จำแนกชนิดสารผลิตภัณฑ์ วัดปริมาณสารผลิตภัณฑ์ และหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

2. บอกประเภทของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และสามารถวัดพลังงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

3. อธิบายภาพรวมกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้ และสามารถเชื่อมโยงผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตได้

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

กระบวนการหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) เป็นตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาคายพลังงาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่ให้พลังงาน (คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และโปรตีน) ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ กลูโคส กรดไขมัน (ร่วมกับสารพวกแอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอล) และกรดอะมิโน ตามลำดับ และคายพลังงานที่ได้จากการสลายพันธะเคมีออกมา การหายใจระดับเซลล์ทั่วไปเป็นแบบมีการใช้ออกซิเจนมารับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และคายพลังงานออกมา 32 - 38 ATP นี้เรียกว่า **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน** (aerobic respiration)

สมการ การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy}$$

การหายใจแบบใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. ไกลโคลิซิส (glycolysis) เป็นการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน 6 อะตอม (C_6) (เช่น กลูโคส) เป็นสารคาร์บอน 3 อะตอม (C_3) หรือไพรูเวต (pyruvate) 2 โมเลกุล และได้พลังงานสุทธิออกมา 2 ATP

2. การสร้างแอซีทิล (acetyl formation) เป็นการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน 3 อะตอม (C_3) หรือไพรูเวต 2 โมเลกุล เป็นคาร์บอน 2 อะตอม (C_2) หรือแอซีทิล (2 โมเลกุล) และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 2 โมเลกุล เนื่องจากการลดจำนวนคาร์บอนของไพรูเวตแต่ละโมเลกุล

3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs' cycle) เป็นการเพิ่มจำนวนคาร์บอนจากออกซาโลแอซิเทต (oxaloacetate, C_4) ให้กับแอซีทิล (C_2) ได้เป็นสารคาร์บอน 6 อะตอม (C_6) หรือกรดซิทริก (citric acid) และมีการลดจำนวนอะตอมของคาร์บอนกลายเป็นสารคาร์บอน 5 และ 4 อะตอมตามลำดับ ในขั้นตอนนี้

แอซีทิลผ่านวัฏจักรเครบส์ 2 โมเลกุล จึงปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 4 โมเลกุล และเกิดพลังงานอิสระเกิดขึ้น 2 GTP (มีค่าเทียบเท่ากับ 2 ATP)

4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport system, ETS) เป็นการนำสารพลังงานสูงในรูป $NADH+H^+$ และ $FADH_2$ มาผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox) และเข้าสู่กระบวนการออสโมซิสทางเคมี (chemiosmosis) ได้พลังงานออกมา 3 ATP และ 2 ATP ตามลำดับ

การทดลองเรื่องการหายใจแบบใช้ออกซิเจน แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1.1 ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

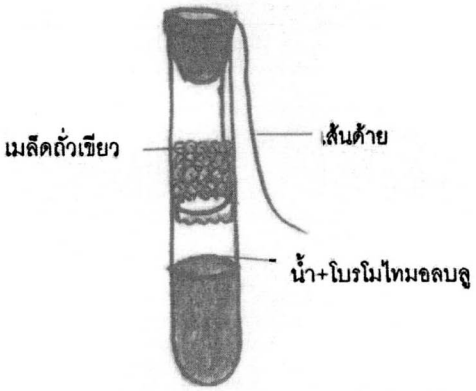
ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของเมล็ดถั่วเขียว (*Vigna radiata* L. Wilczek.) โดยใช้เทคนิคของการเปลี่ยนสีของโบรโมไทมอลบลูมาไทเทรตหาปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

1. หลอดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร พร้อมจุกยาง จำนวน 3 ชุด
2. เส้นด้าย ความยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 3 เส้น
3. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
4. สำลี
5. ปากคีบ จำนวน 1 อัน
6. เมล็ดถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ด
7. เมล็ดถั่วเขียวงอก จำนวน 50 เมล็ด
8. สารละลายโบรโมไทมอลบลู (bromothymol blue, $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (w/v) มีช่วง pH อยู่ระหว่าง 6.0 (สีเหลือง) – 7.6 (สีน้ำเงิน)
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N
10. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 15 มิลลิลิตร
11. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน

<u>หมายเหตุ</u>

1. เมล็ดถั่วเขียวงอก หมายถึง เมล็ดถั่วเขียวแช่น้ำไว้ 1 คืน
2. เมล็ดถั่วเขียวต้ม หมายถึง เมล็ดถั่วเขียวแช่น้ำไว้ 1 คืน แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 5 นาที



ภาพประกอบที่ 1 การทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

วิธีทำการทดลอง

1. เติมน้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในหลอดที่ 1, 2 และหลอดที่ 3 ปริมาตรหลอดละ 5 มิลลิลิตร
2. หยดสารละลายโบรโมไทมอลบลู หลอดละ 1 หยด และเขย่าให้ผสมเข้ากัน
3. นำสำลีพันเป็นก้อนขนาดพอดีไม่ให้แน่นจนเกินไป (ภาพประกอบ 1) และผูกด้วยเส้นด้ายใส่ลงในหลอด ทดลองทั้ง 3 หลอด โดยให้สำลีอยู่เหนือระดับสารละลายที่เตรียมไว้ ประมาณ 1 เซนติเมตร
4. ให้ทำตามรายละเอียดต่อไปนี้ในแต่ละหลอดทดลอง

   หลอดที่ 1 ใส่เมล็ดถั่วเขียวงอก จำนวน 50 เมล็ด

   หลอดที่ 2 ใส่เมล็ดถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ด

   หลอดที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่วเขียว (หลอดควบคุม)
5. ปิดด้วยจุกยางทั้ง 3 หลอด (ภาพประกอบ 1) ให้สังเกตการเปลี่ยนสีของโบรโมไทมอลบลูตามระยะเวลาที่กำหนดให้และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.1
6. เมื่อครบ 60 นาที ให้สังเกตหลอดทดลองที่มีการเปลี่ยนสีโดยเปรียบเทียบกับหลอดควบคุม (หลอดที่ 3) จากนั้นเอาเมล็ดถั่วเขียวหลอดที่เปลี่ยนสีออกให้หมด ระวังอย่าให้เมล็ดถั่วเขียวร่วงลงไปในหลอด ทำการไทเทรตสารละลายที่อยู่ก้นหลอด โดยการหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 N ลงไป นับจำนวนหยดพร้อมเขย่าหลอดทดลองไปเรื่อย ๆ จนสารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนสีกลับไปเป็นสีเดิม บันทึกจำนวนหยดของสารละลาย NaOH ที่ไทเทรตไป ลงในตารางที่ 1.1และคำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (โดยกำหนดให้ จำนวนหยดของสารละลาย NaOH จำนวน 20 หยดมีค่าเท่ากับปริมาตรสาร 1 มิลลิลิตร)
7. คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว

ผลการทดลอง (ทดสอบหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน)
บันทึกผลการทดลองตารางที่ 1.1

หลอดทดลอง	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น				
	สีของโบรโมไทมอลบลู			จำนวนหยดของ NaOH (หยด)	ปริมาตรของ NaOH (mL)
	0 (นาที)	30 (นาที)	60 (นาที)		
หลอดที่ 1 เมล็ดถั่วเขียวงอก					
หลอดที่ 2 เมล็ดถั่วเขียวต้ม					
หลอดที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่วเขียว					

คำถามท้ายการทดลอง

หลอดทดลองที่มีการเปลี่ยนสีของโบรโมไทมอลบลู คือ _____ ชนิดของสารผลิตภัณฑ์ที่ทำให้น้ำสีสารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนสี คือ _____ การหายใจของเมล็ดถั่วเขียวงอกเป็นการหายใจแบบใด _____

คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

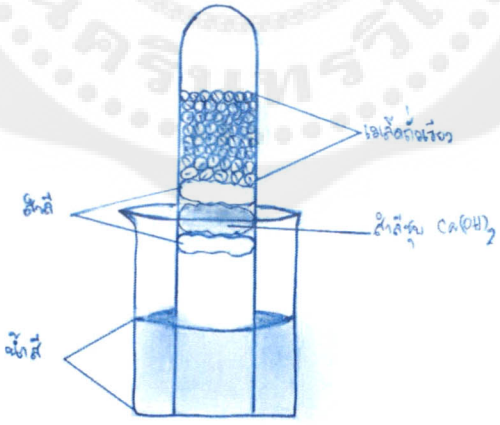
ตอนที่ 1.2 การหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน โดยใช้อัตราการดูดซับของสารละลาย $Ca(OH)_2$ กับสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

1. หลอดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด
2. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
3. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
4. ปากคีบ จำนวน 1 อัน
5. สำลี
6. เมล็ดถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ด
7. เมล็ดถั่วเขียวงอก จำนวน 50 เมล็ด
8. สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)
9. น้ำสีผสมอาหาร ปริมาตร 90 มิลลิลิตร
10. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน

<u>หมายเหตุ</u> น้ำสี หมายถึง น้ำประปา ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ใส่ผงสีผสมอาหารลงไป 0.1 กรัม (จะทำให้ได้น้ำสีที่ไม่เข้มข้นมาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการมองเห็นผลการทดลอง)



ภาพประกอบที่ 2 การหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

วิธีทำการทดลอง

1. เทน้ำสีผสมอาหารลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ทั้ง 3 ใบ ปริมาตรใบละ 30 มิลลิลิตร

2. ให้ทำตามรายละเอียดต่อไปนี้ในแต่ละหลอดทดลอง

หลอดที่ 1 ใส่เมล็ดถั่วเขียวงอก จำนวน 50 เมล็ด

หลอดที่ 2 ใส่เมล็ดถั่วเขียวต้ม จำนวน 50 เมล็ด

หลอดที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่วเขียว (หลอดควบคุม)

3. นำสำลีมาพันให้มีขนาดพอดีสำหรับใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด โดยให้สำลีอยู่สูงกว่าระดับเมล็ดถั่วเขียวในหลอดทดลอง 2 เซนติเมตร

4. นำสำลีทำเป็นก้อนขนาดเท่ากับหัวนิ้วโป้ง และนำสำลีไปชุบสารละลาย $Ca(OH)_2$ และใส่ลงไปในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด แล้วปิดทับด้วยสำลีอีกชั้นเพื่อซับสารละลาย $Ca(OH)_2$ เอาไว้ จากนั้นนำหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด วางคว่ำปลายหลอดลงไปในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำสีไว้แล้ว โดยคว่ำหลอดทดลอง 1 หลอดต่อบีกเกอร์น้ำสี 1 ใบ (ภาพประกอบ 2)

5. สังเกตการการเปลี่ยนแปลงของน้ำในหลอดทดลอง บันทึกผลการทดลองตามระยะเวลาที่กำหนดให้ลงในตารางที่ 1.2

6. คำนวณหาปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้นในหลอดทดลอง จากสมการที่ (1) และคำนวณหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ได้จากสมการที่ (2)

<u>หมายเหตุ</u> อัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน = อัตราการดูดซับของสารละลาย $Ca(OH)_2$กับสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

คำนวณปริมาตรของน้ำในแต่ละหลอด จากสมการที่ (1) (โดยที่ π มีค่าเท่ากับ 3.14)

$$v = \pi r^2 h \quad \text{- - - (1)}$$

คำนวณหาอัตราการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว จากสมการที่ (2)

$$\text{อัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน } (cm^3/min) = \frac{\text{ปริมาตร } (v)}{\text{เวลา}(min) \times \text{จำนวนเมล็ดถั่วเขียว}} \quad \text{- - - (2)}$$

ผลการทดลอง (การหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน)

บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.2

หลอดทดลอง	**ความสูงของน้ำที่เพิ่มเข้าไปในหลอดทดลอง** (cm)		**ปริมาตรน้ำที่เพิ่มเข้าไปในหลอดทดลอง** (cm^3)
	0 (นาที)	60 (นาที)	
หลอดที่ 1 เมล็ดถั่วเขียวงอก			
หลอดที่ 2 เมล็ดถั่วเขียวต้ม			
หลอดที่ 3 ไม่ใส่เมล็ดถั่ว			

คำถามการทดลอง

สารละลาย $Ca(OH)_2$ ทำปฏิกิริยากับสารใด _____ ซึ่งเป็น สารตั้งต้น หรือ สารผลิตภัณฑ์ _____ จากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

คำนวณหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน จากสมการที่ 2

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 1.3 ทดสอบความร้อนและน้ำที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานและน้ำที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดถั่วเขียว

วัสดุอุปกรณ์ (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

1. กล่องโฟม กว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
2. ถุงซิปล็อก กว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ
3. สำลีชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) และอบให้แห้ง
4. เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 3 อัน
5. เมล็ดถั่วเขียวงอก
6. เมล็ดถั่วเขียวต้ม
7. กระดาษทิชชู
8. เทปกาว

<u>หมายเหตุ</u> ตัดสำลีให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร นำไปชุบสารละลายคอป-เปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) ผึ่งทิ้งไว้ 1 คืน และนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดน้ำออก

วิธีทำการทดลอง

1. ซับน้ำออกจากเมล็ดถั่วเขียวงอก **<u>ให้แห้งสนิท</u>** ก่อนใส่ลงในถุงซิปล็อก A ให้ได้ปริมาณ 2/3 ถุง

2. ซับน้ำออกจากเมล็ดถั่วเขียวต้ม **<u>ให้แห้งสนิท</u>** ก่อนใส่ลงในถุงซิปล็อก B ให้ได้ปริมาณ 2/3 ถุง

3. ใช้ปากคีบคีบสำลีชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตใส่ไปถุงซิปล็อก ถุงละ 1 แผ่น โดยวางสำลีให้อยู่ด้านบนเมล็ดถั่ว

4. เสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปตรงรอยตัดข้างๆ ถุงซิปล็อก A และ B และปิดด้วยเทปกาวให้สนิท ไล่อากาศออกจากถุงให้หมดก่อนนำถุงซิปล็อกทั้ง 2 ใส่ลงไปในกล่องโฟม **(ภายในกล่องโฟมให้ใส่เทอร์โมมิเตอร์และสำลีชุบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตลงไปอีก 1 ชุด)** ให้สังเกตอุณหภูมิและสีของสำลีชุบคอปเปอร์ซัลเฟต และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.3 ตามระยะเวลาที่กำหนดให้ แล้วปิดฝากล่องโฟมให้สนิท

ผลการทดลอง (การเปลี่ยนแปลงพลังงานและน้ำที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน)
บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.3

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)		สีของสำลีชุบคอปเปอร์ซัลเฟต	
	0 (นาที)	60 (นาที)	0 (นาที)	60 (นาที)
ถุงซิปล็อกที่ 1 เมล็ดถั่วเขียวงอก				
ถุงซิปล็อกที่ 2 เมล็ดถั่วเขียวต้ม				
ภายในกล่องโฟม				

คำถามการทดลอง

ถุงซิปล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คือ _____ อุณหภูมิที่วัดได้เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแบบใด

_____ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานใด _____ ไปเป็นพลังงานใด _____ สีของสำลีชุบคอปเปอร์ซัลเฟตเปลี่ยนจากสีใดไปเป็นสีใด _____ แสดงว่าคอปเปอร์ซัลเฟตใช้ทดสอบสารผลิตภัณฑ์ชนิดใด _____

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ แบคทีเรีย หรือเซลล์กล้ามเนื้อลาย (stratified muscle) ของสัตว์ที่เกิดการเมื่อยล้าทำให้ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ มีกระบวนการหายใจโดยผ่านกระบวนการไม่ครบขั้นตอนของการหายใจระดับเซลล์จึงไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และคายพลังงานออกมา 2 ATP เรียกการหายใจแบบนี้ว่า **การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration)**

ส่วนการหายใจในภาวะขาดออกซิเจน เป็นการเปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เกิดพลังงานโดยไม่ครบขั้นตอนของการหายใจแบบใช้ออกซิเจน คือ ผ่านขั้นตอนของไกลโคลิซิส จากนั้นสารคาร์บอน 3 อะตอมหรือไพรูเวต จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดต่าง ๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) กรดแลกทิก (lactic acid) และได้พลังงานออกมา 2 ATP (~26 Kcal)

สมการ การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{Yeast}]{\text{fermentation}} 2CO_2 + 2C_2H_5OH + \text{energy}$$

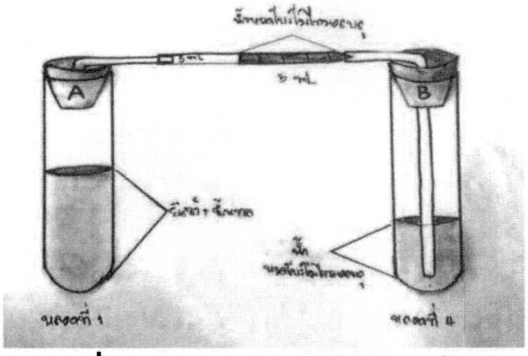
การทดลอง เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้ทำการทดสอบหาชนิดและปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้เทคนิคของการเปลี่ยนสีของน้ำสี

สารละลายโบรโมไทมอลบลูมาไทเทรตหาปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ และทดสอบหาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

1. หลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 5 หลอด
2. ปิเปตแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
3. จุกยาง A เสียบด้วยสายยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 1 เซนติเมตร จำนวน 1 ชุด และจุกยาง B เสียบด้วยสายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 18 เซนติเมตร จำนวน 1 ชุด
4. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
5. ลูกยางสำหรับดูดปิเปต จำนวน 1 อัน
6. เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 2 อัน พร้อมจุกยางเจาะรู จำนวน 1 อัน
7. ยีสต์ผง ปริมาณ 1 กรัม
8. สารละลายน้ำตาลทราย เข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร
9. สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 N
10. สารละลายโบรโมไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)
11. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
12. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน
13. โฟมขนาดความกว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 16 เซนติเมตร **(เจาะรูสำหรับเสียบหลอดทดลอง 2 รู)** จำนวน 1 อัน

<u>หมายเหตุ</u> สารละลายน้ำตาลทรายก่อนการทดลองควรนำไปอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย (อุ่นในไมโครเวฟ ประมาณ 20 วินาที จะได้อุณหภูมิสูงของสารละลายน้ำตาลทรายประมาณ 32 ºC)



ภาพประกอบที่ 3 การทดลองการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

วิธีทำการทดลอง

1. ให้ทำตามรายละเอียดต่อไปนี้ในแต่ละหลอดทดลอง

หลอดทดลองที่ 1 เทยีสต์ผงลงไป ปริมาณ 1 กรัม และเติมสารละลายน้ำตาลทราย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิดด้วยจุกยาง A ที่มีสายยางเสียบอยู่ แล้วนำไปเสียบลงไปในรูของโฟม

หลอดทดลองที่ 2 เทสารละลายน้ำตาลทราย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เสียบด้วยจุกยางที่เสียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ แล้วนำไปเสียบลงไปในรูของโฟม **(วัดอุณหภูมิเริ่มต้น)** บันทึกผลลงในตารางที่ 2

หลอดทดลองที่ 3 เทยีสต์ผงลงไป ปริมาณ 1 กรัม และเติมสารละลายน้ำตาลทราย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ไม่ต้องปิดจุก นำไปวางที่ตะแกรงวางหลอด

หลอดทดลองที่ 4 เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หยดโบรโมไทมอลบลูลงไป 2 หยด เขย่าให้ละลายเข้ากัน ปิดด้วยจุกยาง B ที่มีสายยางเสียบอยู่ นำไปวางที่ตะแกรงวางหลอด

หลอดทดลองที่ 5 เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หยดโบรโมไทมอลบลูลงไป 2 หยด เขย่าให้ละลายเข้ากัน ปิดด้วยจุกยางหรือสำลี นำไปวางที่ตะแกรงวางหลอด

2. นำปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตรเสียบปลายเข้าที่สายยางของจุกยาง B (หลอดที่ 4) จากนั้นใช้ลูกยางดูดเอาสารละลายโบรโมไทมอลบลูเข้ามาที่ปิเปตโดยให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ตามขนาดของปิเปต) เพื่อต้องการให้สารละลายโบรโมไทมอลบลูอยู่ในปิเปต ให้ดึงลูกยางออกพร้อมใช้หัวแม่มือซ้ายปิดรูปิเปตเอาไว้ อย่าเพิ่งปล่อยมือ ขณะเดียวกันให้ใช้มืออีกข้างหนึ่งดึงสายยางออกจากบริเวณส่วนปลายของปิเปตแล้วให้ใช้มือปิดตรงส่วนปลายปิเปตแทน จากนั้นจับปิเปตให้อยู่ในแนวระนาบกับพื้น ค่อยๆ เสียบสายยางของจุกยาง A เข้าไปที่รูของปิเปต (ภาพประกอบ 3) เพื่อทำให้เป็นระบบปิด (closed system) ระหว่างหลอดทดลองที่ 1 กับ หลอดทดลองที่ 4

3. ให้สังเกตทิศทาง และจับเวลาทั้งหมดของการเคลื่อนที่ของสารละลายโบรโมไทมอลบลูที่ไหลออกจากปลายปิเปตจนหมด บันทึกลงในตารางที่ 2 คำนวณหาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

4. ให้เริ่มจับเวลาตั้งแต่สารละลายโบรโมไทมอลบลูไหลลงไปในหลอดที่ 4 จนหมด เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ถอดจุกยางออกและวัดอุณหภูมิหลอดทดลองที่ 1 และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของหลอดที่ 2 และค่อย ๆ ใช้มือโบกพัดเพื่อดมกลิ่นที่เกิดขึ้นของหลอดทดลองที่ 1 และ 3 บันทึกผลลงในตารางที่ 2

5. หาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยการไทเทรตสารละลายโบรโมไทมอลบลูในหลอดทดลองที่ 4 (ที่ต่อกับหลอดทดลองที่ 1) โดยใช้หลอดทดลองที่ 5 เป็นตัวเปรียบเทียบสี นับจำนวนหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 N ที่ทำให้น้ำสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนกลับเป็นสีเดิม (โดยกำหนดให้ สารละลาย NaOH จำนวน 20 หยด เท่ากับ ปริมาตรสาร 1 มิลลิลิตร)

6. หาอัตราการหายใจของยีสต์ตามสมการที่ (3)

$$\text{อัตราการหายใจของยีสต์ (mL/min)} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายในปิเปต (5 mL)}}{\text{เวลาทั้งหมดของการเคลื่อนที่ของสารละลายโบรโมไทมอลบลู (min)}} \quad \text{- - - (3)}$$

ผลการทดลอง (การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน)

บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 2

หลอดทดลอง	อุณหภูมิ (°C)		กลิ่นเอทานอล	จำนวนหยดของ NaOH (หยด)	ปริมาตรของ NaOH (mL)
	เริ่มต้น (0 นาที)	สุดท้าย (__นาที)			
1. ยีสต์ + สารละลายน้ำตาล				-	-
2. สารละลายน้ำตาล			-	-	-
3. ยีสต์ + สารละลายน้ำตาล	-	-		-	-
4. สารละลายโบรโมไทมอลบลู	-	-	-		
5. สารละลายโบรโมไทมอลบลู	-	-	-	-	-

คำถามการทดลอง

สีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนจากสี _____ แสดงให้เห็นว่าเกิดสาร _____ จากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ หลอดทดลองที่มีกลิ่นของเอทานอลคือ _____ แสดงว่าให้เห็นว่าเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการใด _____ ของการหายใจยีสต์ อุณหภูมิที่วัดได้จากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบใด _____

คำนวณหาอัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้สมการที่ (3)

.....

.....

.....

.....

คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เป็นตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาดูดพลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการใช้แสงทำให้น้ำแตกตัว (photolysis) และปล่อยอิเล็กตรอนถ่ายทอดไปในระบบที่ต้องใช้แสง (light-dependent system) และระบบที่ไม่ต้องใช้แสง (light-independent system) สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (แป้ง) และมีผลพลอยได้ (by-product) ออกมา 2 ชนิด ได้แก่ ออกซิเจนและน้ำ การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดในคลอโรพลาสต์ของพืช โดยใช้รงควัตถุในการจับแสง (photosynthetic pigment) และมีการเปลี่ยนรูปพลังงานการแผ่รังสีของแสง (radiant energy of light) ให้เป็นพลังงานเคมี ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ (1) ปัจจัยภายนอก เช่น แสงสว่าง คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน สารเคมีบางชนิด และเกลือแร่ (2) ปัจจัยภายใน เช่น โครงสร้างใบพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ โพรโทพลาสต์และการหายใจ

สมการ การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{chlorophyll}]{\text{light energy}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

การทดลอง เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 3.1 ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก

เป็นขั้นตอนการทดสอบการใช้สารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกโดยใช้เทคนิคของการเปลี่ยนสีของน้ำสีสารละลายโบรโมไทมอลบลูมาโดยไทเทรตหาปริมาณ CO_2 ที่ใช้ไปด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

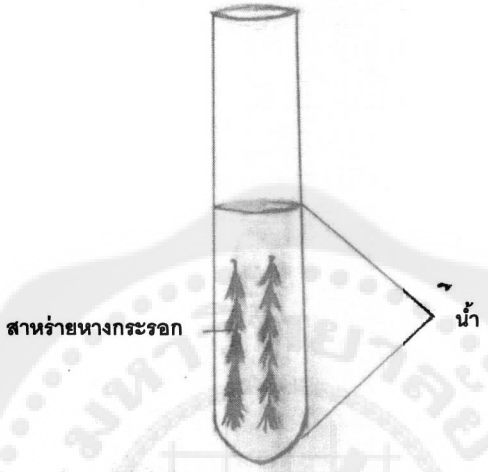
1. หลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด
2. สาหร่ายหางกระรอก ความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อน
3. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
4. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
5. หลอดกาแฟ จำนวน 1 หลอด
6. แท่งแก้วคน จำนวน 1 อัน
7. จุกยาง จำนวน 3 อัน
8. สารละลายโบรโมไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 1 (w/v)
9. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.05 N

10. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 45 มิลลิลิตร

11. โคมไฟ จำนวน 1 ชุด

12. ตะแกรงวางหลอดทดลอง จำนวน 1 อัน

13. ปากคีบ จำนวน 1 อัน



ภาพประกอบ 4 การทดลองหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วิธีทำการทดลอง

1. เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 45 มิลลิลิตร

2. หยดสารละลายโบรโมไทมอลบลู จำนวน 3 หยด คนให้เข้ากัน จากนั้นเป่าลมหายใจผ่านหลอดกาแฟลงไปในบีกเกอร์ให้นานที่สุด จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จากนั้นเทสารละลายใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง - หลอด โดยให้มีปริมาตรหลอดละ 15 มิลลิลิตร

4. ให้ทำตามรายละเอียดต่อไปนี้ในแต่ละหลอดทดลอง

หลอดทดลองที่ 1 ตัดสาหร่ายหางกระรอกให้มีความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน โดยให้คว่ำตรงส่วนปลายยอดลงไปในหลอดทดลอง (ดูภาพประกอบที่ 4) แล้วปิดจุกยาง

หลอดทดลองที่ 2 ตัดสาหร่ายหางกระรอกให้มีความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน โดยให้คว่ำตรงส่วนปลายยอดลงไปในหลอดทดลอง (ภาพประกอบ 4) แล้วปิดจุกยาง

หลอดทดลองที่ 3 ไม่ใส่สาหร่ายหางกระรอก แล้วปิดจุกยาง

5. นำหลอดทดลองที่ 1 และ หลอดที่ 3 (หลอดควบคุม) ให้แสงสว่างจากโคมไฟ ส่วนหลอดทดลองที่ 2 ไม่ต้องให้แสงสว่างจากโคมไฟ (อาจวางไว้ใต้โต๊ะปฏิบัติการแทน)

6. สังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด บันทึกผลลงในตารางที่ 3.1 เมื่อครบ 30 นาที ใช้ปากคีบ คีบเอาสาหร่ายออกจากหลอดทดลองที่มีการเปลี่ยนสีของโบรโมไทมอลบลู

และนำมาไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 N เพื่อหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยเปรียบเทียบกับหลอดทดลองที่ 3 (หลอดควบคุม)

7. บันทึกจำนวนหยดของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไปที่ทำให้สารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนกลับเป็นสีเดิม (โดยกำหนดให้สารละลาย HCl 20 หยด เท่ากับปริมาตรสาร 1 มิลลิลิตร)

8. หาปริมาณสารผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ผลการทดลอง (การหาชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก)

บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.1

หลอดทดลอง	**ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น**			
	สีของโบรโมไท-มอลบลู		**จำนวนหยดของสารละลาย HCl** (หยด)	**ปริมาตรของสารละลาย HCl** (mL)
	0 (นาที)	30 (นาที)		
หลอดที่ 1 ให้แสง				
หลอดที่ 2 ไม่ให้แสง				
หลอดที่ 3 หลอดควบคุม				

คำถามการทดลอง

การเป่าลมหายใจลงไปในน้ำ เป็นการเพิ่มสารใด _____ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เมื่อครบเวลา 30 นาที หลอดทดลองที่มีการเปลี่ยนสีของโบรโมไท-มอลบลู คือ _____แสดงว่าเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช คือ _____

คำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

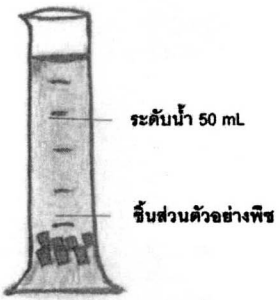
.....

ตอนที่ 3.2 การทดสอบหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

เป็นการหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบพืช (ใบเลี้ยงเดี่ยว) โดยเกิดปฏิกิริยากับชิ้นส่วนของใบพืชแล้วเกิดการเคลื่อนที่ในน้ำ

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี (ต่อ 1 กลุ่มทดลอง)

1. ใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น วาสนา (*Dracaena fragrans* (L.) Ker Gawl.) พลับพลึง (*Crinum asiaticum* L.) ก้ามกุ้งสีทอง (*Heliconia spathocircinata Aristeguita cv*. Golden Torch)
2. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน
3. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
4. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
5. กระบอกฉีดยา ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
6. กรรไกร จำนวน 1 อัน
7. ไม้บรรทัด จำนวน 1 อัน
8. ปากคีบ จำนวน 1 อัน
9. สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
10. น้ำกลั่นหรือน้ำประปา ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
11. โคมไฟ จำนวน 1 ชุด



ภาพประกอบ 5 การทดลองหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

วิธีทำการทดลอง

1. เทน้ำกลั่นหรือน้ำประปาลงในกระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน ปริมาตรกระบอกตวงละ 100 มิลลิลิตร (เขียนไว้กระบอกตวงที่ 1 และกระบอกตวงที่ 2)

2. ทำเครื่องหมายไว้ที่ระดับน้ำ 50 มิลลิลิตร

3. ตัดใบพืชให้เป็นชิ้น โดยมีขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตรและความยาว 1 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น แล้วหยิบชิ้นส่วนของใบพืช จำนวน 10 ชิ้น ใส่ลงในกระบอกฉีดยา

4. ใช้กระบอกฉีดยาที่มีชิ้นตัวอย่างพืชดูดสารละลาย $NaHCO_3$ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และจับกระบอกเข็มฉีดยาให้อยู่ในแนวตั้ง แล้วดันก้านสูบขึ้นเพื่อไล่อากาศออกจากกระบอกฉีดยา

5. ใช้นิ้วชี้ปิดปลายกระบอกฉีดยาเอาไว้และใช้มืออีกข้างดึงก้านสูบลงมา ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที และปล่อยก้านสูบกลับ สังเกตว่าชิ้นส่วนพืชจะจมลง

6. ฉีดสารละลายทิ้ง (ไม่ต้องเทกลับคืน) ใช้ปากคีบคีบชิ้นตัวอย่างใบพืชใส่ลงในกระบอกตวงที่ 1 และทำข้อที่ 4 ซ้ำอีกครั้งกับชิ้นส่วนใบพืชอีก 10 ชิ้นที่เหลือ เมื่อเสร็จแล้วนำเอาไปใส่กระบอกตวงที่ 2

7. นำกระบอกตวงที่ 1 ไปให้แสงสว่างจากโคมไฟ และกระบอกตวงที่ 2 ไม่ต้องให้แสงสว่างจากโคมไฟ (อาจวางไว้ใต้โต๊ะปฏิบัติการแทน)

8. สังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของใบพืชและนับจำนวนชิ้นส่วนของใบพืชที่ลอยตัวขึ้นมาที่ระดับความสูงของน้ำ 50 มิลลิลิตร (หรือปริมาตรน้ำเท่ากับ 50 cm^3) ภายใน 15 นาที บันทึกผลลงในตารางที่ 3.2 และคำนวณหาอัตราการเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

ผลการทดลอง (การทดสอบหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช)

บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.2

กระบอกตวง	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	
	บรรยายสิ่งที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของใบพืช	**จำนวนชิ้นใบพืชที่ลอยขึ้นมาที่ระดับน้ำ** 50 mL (cm^3)
กระบอกตวงที่ 1 ให้แสงสว่าง		
กระบอกตวงที่ 2 ไม่ให้แสงสว่าง		

หมายเหตุ

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อชิ้นตัวอย่าง = $\frac{\text{เวลา 15 นาที}}{\text{จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ลอย}} \times \frac{\text{ปริมาตรน้ำ 1 } cm^3}{\text{ปริมาตรน้ำ 50 } cm^3}$

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชต่อพื้นที่ใบ 1 cm^2 = _____ min/ cm^3

คำถามการทดลอง

สารละลาย $NaHCO_3$ จะให้สาร _____ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชทำให้ได้ _____ เป็นสารผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้ชิ้นส่วนของใบพืชค่อยๆ ลอยขึ้นมา กระบอกตวงที่เกิดปฏิกิริยา คือ _____ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบใด _____ เป็นการนำเอาพลังงาน _____ เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงาน _____

คำนวณหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2557). เอกสารประกอบการสอนวิชา ชว 101 เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Campbell, N., Reece, J., Urry, L., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., and Jackson, R. B. (2015). **Biology: A global approach.** 10th ed. New York: Pearson.

Brooker, R. J., Widmaier, E. P., Graham, L. E., and Stiling, P. D. (2011). **Biology.** 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Mader, S. S. (2010). **Biology.** 10th ed. New York: McGraw-Hill.

Voet, D., Voet, J., and Pratt, C. W. (2013). **Fundamentals of Biochemistry.** 4th ed. USA: John Wiley & Sons.

แผนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง
บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน สำหรับนิสิตปริญญาตรี

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง

ขั้นที่ 1 Warming-up (ขั้นนำ) ผู้สอนอธิบายภาพรวมของพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต พลังงานในสิ่งมีชีวิต หมายถึง ความสามารถในการทำงานและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้ พลังงานจำแนกตามการใช้งานเพื่อการเคลื่อนที่ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ พลังงานสะสมไม่ได้ใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานศักย์ (potential energy) และพลังงานที่นำไปใช้ในการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลังงานจลน์ (kinetic energy) พลังงานศักย์สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานจลน์ได้เมื่อเซลล์หรือร่างกายเคลื่อนที่ไป อาหารที่เรารับประทานเข้าไปอาจอยู่ในรูปของสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน หรือสารอาหารอื่น ๆ ที่ไม่ให้พลังงาน สารอาหารต่าง ๆ ที่ย่อยแล้วนี้เก็บสะสมไว้ในรูปแบบพลังงานเคมี (chemical energy) ซึ่งยังไม่ได้ใช้ในการเคลื่อนที่จึงเป็นพลังงานศักย์รูปแบบหนึ่ง เมื่อเราเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ไป พลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้นั้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์รูปแบบหนึ่งเรียกว่า พลังงานกล (mechanical energy)

รูปแบบของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีการแลกเปลี่ยนพลังงานอยู่เสมอ ภายหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง การแลกเปลี่ยนพลังงานอาจมีผลทำให้พลังงานพันธะของสารผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าพลังงานของพันธะของสารตั้งต้น แสดงให้เห็นว่า การเกิดพันธะเคมีต้องมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงานออกจากระบบ ปฏิกิริยาใดสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว สารตั้งต้นมีพลังงานพันธะมากกว่าสารผลิตภัณฑ์และปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่เหลือออกมา เรียกปฏิกิริยานั้นว่า **ปฏิกิริยาคายพลังงาน** (exergonic reaction **หรือ** exothermic reaction) ได้แก่**กระบวนการหายใจระดับเซลล์** (cellular respiration) ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาคายพลังงาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่ให้พลังงาน (คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และโปรตีน) ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ กลูโคส กรดไขมัน (ร่วมกับสารพวกแอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอล) และกรดอะมิโน ตามลำดับ และคายพลังงานที่ได้จากการสลายพันธะเคมีออกมา การหายใจระดับเซลล์ทั่วไปเป็นแบบมีการใช้ออกซิเจนมารับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และคายพลังงานออกมา 32-38 ATP นี้เรียกว่า **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน** (aerobic respiration) ในจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ แบคทีเรีย หรือเซลล์กล้ามเนื้อลาย (stratified muscle) ของสัตว์ที่เกิดการเมื่อยล้าทำให้ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ มีกระบวนการหายใจโดยผ่านกระบวนการไม่ครบขั้นตอนของการหายใจระดับเซลล์จึงไม่จำเป็นต้องใช้

ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และคายพลังงานออกมา 2 ATP เรียกการหายใจแบบนี้ว่า **การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน** (anaerobic respiration)

ส่วนการหายใจในภาวะขาดออกซิเจน เป็นการเปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เกิดพลังงานโดยไม่ครบขั้นตอนของการหายใจแบบใช้ออกซิเจน คือ ผ่านขั้นตอนของไกลโคลิซิส จากนั้นสารคาร์บอน 3 อะตอมหรือไพรูเวต จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดต่าง ๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) กรดแลกทิก (lactic acid) และได้พลังงานออกมา 2 ATP (~26 Kcal)

แต่หากปฏิกิริยาใดเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้วสารตั้งต้นมีพลังงานพันธะต่ำกว่าสารผลิตภัณฑ์ และต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยสร้างพันธะในสารผลิตภัณฑ์ เรียกปฏิกิริยานั้นว่า **ปฏิกิริยาดูดพลังงาน** (endergonic reaction **หรือ** endothermic reaction) ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งพืช สาหร่ายเซลล์เดียวหรือแอลจี (algae) และแบคทีเรียบางชนิดมีรงควัตถุช่วยในการจับแสง (เช่น คลอโรฟิลล์) และนำพลังงานเหล่านี้ไปใช้ในการสังเคราะห์อาหาร โดยทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เปลี่ยนแปลงไปเป็นโมเลกุลของสารเคมีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนขึ้น (เช่น น้ำตาล)

น้ำตาลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนจะจัดเรียงอะตอมใหม่และเก็บสะสมในรูปแบบของพลังงานเคมี (พลังงานศักย์) ที่พันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งสามารถสลายตัวกลับเป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้งานใหม่ได้ จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า พลังงานไม่สูญหายแต่อาจเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ได้ เรียกข้อเท็จจริงนี้ว่า **กฎทรงพลังงาน** ซึ่งเป็นกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (the first law of thermodynamics) การเปลี่ยนแปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งนั้น ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบ (disorder หรือ randomness) ของโมเลกุลภายในเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต และทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนที่ไม่ได้ใช้งาน (unusable energy) การเปลี่ยนแปลงพลังงานและสูญเสียพลังงานบางส่วนในรูปความร้อน เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบนี้ เรียกว่า กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ (the second law of thermodynamics) หรือกฎของเอนโทรปี (the law of entropy) กฎข้อที่สองนี้แสดงให้เห็นว่า ไม่มีกระบวนการใดที่มีประสิทธิภาพสูงจนสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ทั้งหมด (ร้อยละ 100) และส่วนใหญ่จะสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมในรูปแบบพลังงานความร้อน หรือในรูปแบบพลังงานแสง พลังงานเพียงร้อยละ 20-30 ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานกลและสูญเสียความร้อนออกไป เซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานจลน์ได้เพียงร้อยละ 40 ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับสภาพแวดล้อม

จุดประสงค์การเรียนรู้ หลังจากทำการทดลองแล้ว นิสิตต้องมีสมรรถนะดังต่อไปนี้ได้

1. จำแนกชนิดสารผลิตภัณฑ์ วัดปริมาณสารผลิตภัณฑ์และหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

2. บอกประเภทของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตและสามารถวัดพลังงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

3. อธิบายภาพรวมกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้ และสามารถเชื่อมโยงการผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตได้

ขั้นที่ 2 Leaning ในบทปฏิบัติการนี้ฝึกให้นิสิตค้นคว้า ทำการทดลอง วิเคราะห์ผล และอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนของบทปฏิบัติการ โดยให้ทำการทดลองเป็นกลุ่มๆ ละ 8 คน ซึ่งมีการทดลอง 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (มี 3 ตอน คือ 1.1, 1.2 และ 1.3)

การทดลองที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มี 1 ตอน คือ ตอนที่ 2)

การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (มี 2 ตอน คือ 3.1 และ 3.2)

โดยที่ผู้สอนจะทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกทางการศึกษา รูปแบบกิจกรรมการทดลองเน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติการทดลองเพื่อหาคำตอบและเชื่อมโยงความรู้จากผลการทดลอง

ภาพรวมการแบ่งกลุ่มทำการทดลองภายในกลุ่ม

ตอนที่ 1.1	**ตอนที่ 1.2**	**ตอนที่ 3.2**	**ตอนที่ 2**	**ตอนที่ 3.1**	**ตอนที่ 3.2**
ทำการทดลอง	ทำการทดลอง	ทำการทดลอง	ทำการทดลอง	ทำการทดลอง	ทำการทดลอง
1 คน	1 คน	1 คน	2 คน	1 คน	2 คน
สรุปผลการ	สรุปผลการ	สรุปผลการ	สรุปผลการ	สรุปผลการ	สรุปผลการ
ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง

สรุปผลการทดลองและอภิปรายผลร่วมกันภายในกลุ่ม

ขั้นที่ 3 Conclusion ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันสรุปภาพรวมของการทดลองลงในใบสรุปกิจกรรมเพื่อเป็นการสรุปความรู้ที่ได้จากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง และได้จากการหาคำตอบจากการลงมือทำปฏิบัติการ โดยผู้สอนใช้ใบสรุปกิจกรรมการทดลอง สรุปผลดังนี้ ได้แบ่งออกเป็นการทดลองใดบ้าง ในแต่ละการทดลองเน้นพิสูจน์อะไร และมีวิธีการตรวจสอบหรือติดตามผลการทดลองได้อย่างไร และมีการทดลองใดบ้างที่เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตแบบดูดและคายพลังงาน และสามารถพิสูจน์ได้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร

แผนจัดการเรียนรู้ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน ด้วยวิธีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง

ระยะเวลาที่ใช้สอน ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง (ในแผนการสอน ใช้เวลา 175 นาที)

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	กิจกรรมการเรียนรู้
ทดสอบก่อนเรียน ด้วยข้อสอบ Pretest	10	ใช้ข้อสอบปรนัย จำนวน 7 ข้อ
ผู้สอนอธิบายภาพรวมของพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และรูปแบบของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน, กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ผู้สอนเน้นให้นิสิตทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อหาคำตอบที่ได้จากการลงมือปฏิบัติ	20	ผู้สอนอธิปรายภาพรวมของการทำการทดลองในปฏิบัติการ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ **การทดลองที่** 1 เรื่อง การหายใจแบบใช้ออกซิเจน **ตอนที่** 1.1 ทดสอบชนิดและปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน **ตอนที่** 1.2 หาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน **ตอนที่** 1.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน **การทดลองที่** 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทดสอบชนิดและปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน, หาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	กิจกรรมการเรียนรู้
		การทดลองที่ 3 เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช **ตอนที่** 3.1 ทดสอบชนิดและปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก **ตอนที่** 3.2 หาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช **ผู้สอนแบ่งกลุ่มนิสิต 8 คนต่อ 1 กลุ่มการทดลอง** **การทดลองตอนที่ 1.1 ให้ตัวแทน 1 คน** ทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง **การทดลองตอนที่** 1.2 **ให้ตัวแทน 1 คน** ทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง **การทดลองตอนที่** 1.3 **ให้ตัวแทน 1 คน** ทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง **การทดลองตอนที่ 2 ให้ตัวแทน 2 คน** ช่วยกันทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	กิจกรรมการเรียนรู้
		การทดลองตอนที่ 3.1 ให้ตัวแทน 1 คน ทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง **การทดลองตอนที่ 3.2 ให้ตัวแทน 2 คน** ช่วยกันทำการทดลอง บันทึกผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรม หลังจากนั้นให้อธิบายผลการทดลองให้เพื่อนในกลุ่มฟัง
ทำการทดลอง	60	ผู้เรียนลงมือทำปฏิบัติการ วิธีทำการทดลองในบทปฏิบัติการ สังเกตและบันทึกผลการทดลองตามระยะเวลาที่กำหนดให้ ผู้สอนเป็นผู้อำนวยความสะดวกทางการศึกษา (facilitator) ผู้เรียนรายงานผลการทดลองลงในใบบันทึกกิจกรรม สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง
สรุปผลการทดลองภายในกลุ่ม	30	ผู้เรียนแต่ละคนรายงานผลการทดลองที่ได้ สรุปผลและอภิปรายผลการทดลองในเรื่องที่ตัวเองลงมือทำ และในระหว่างนั้นเพื่อนในกลุ่มเรียนรู้ผลการทดลองที่ได้ไปพร้อมๆ กัน ร่วมกันคิดและให้เหตุผลในการตอบคำถามท้ายการทดลองภายในกลุ่มสามารถสรุปภาพรวมของการทดลองทั้งหมด

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	กิจกรรมการเรียนรู้
ผู้สอนร่วมบรรยายสรุปภาพรวมของการทดลอง	30	ผู้สอนบรรยายสรุปภาพรวมของการทดลอง มีการซักถามเพื่อให้นิสิตอภิปรายผลการทดลองที่ได้ในแต่ละการทดลอง ทบทวนการตอบคำถามท้ายการทดลอง และเชื่อมโยงผลการทดลองของนิสิตกับผลการทดลองที่ถูกต้อง และให้เหตุผลในการทดลองที่มีผลคลาดเคลื่อน สุดท้ายร่วมกันสรุปผลลงในใบสรุปกิจกรรม
นิสิตทบทวนความรู้ที่ได้จากการทำการทดลองและกิจกรรมต่างๆ	10	
ทดสอบหลังเรียนด้วยข้อสอบ Posttest	15	ใช้ข้อสอบปรนัย จำนวน 7 ข้อ และข้อสอบอัตนัยจำนวน 1 ข้อ

หมายเหตุ เวลาที่จัดการเรียนการสอนยืดหยุ่นตามสภาพผู้เรียนและบริบทของชั้นเรียน

แหล่งการเรียนรู้

1. บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
2. แบบบันทึกกิจกรรม/แบบรายงานผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน
3. คำถามท้ายการทดลอง
4. แบบสรุปกิจกรรม

ภาคผนวก ค

- รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือทางการวิจัย
- ผลการวิเคราะห์เครื่องมือทางการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา คุณภาพของบทปฏิบัติการ ความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบสัมภาษณ์เพื่อประเมินความรู้และความเข้าใจ และแบบสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง มีดังต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย-ศรีนครินทรวิโรฒ
3. อาจารย์ ดร.อนิษฐาน ศรีนวล	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ตาราง 14 ประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

รายละเอียดของปฏิบัติการ	คุณภาพของบทปฏิบัติการ			ค่าเฉลี่ย	แปลผล
	ผู้เชี่ยวชาญ				
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
1. ชื่อบทปฏิบัติการ สอดคล้องกับหลักการ ทฤษฎี และเนื้อหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต	5.00	5.00	5.00	5.00	ระดับดีมาก
2. หลักการหรือแนวคิด เป็นส่วนของทฤษฎี และเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และเพื่อใช้เชื่อมโยงความรู้ประกอบการทำปฏิบัติการ	4.00	4.00	4.00	4.00	ระดับดี
3. จุดประสงค์การเรียนรู้ เป็นจุดประสงค์ในส่วนที่จะนำไปสู่กระบวนการค้นหาคำตอบจากการลงมือทำปฏิบัติการของผู้เรียน	5.00	5.00	4.00	4.66	ระดับดีมาก
4. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี เป็นการออกแบบ (Design) วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีเพื่อสอดคล้องกับหลักการ ทฤษฎี และเนื้อหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และเพื่อประโยชน์ต่อครูที่สามารถใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการเรียนการสอนทางด้านชีววิทยา ดังนี้	4.00	4.00	4.00	4.00	ระดับดี

ตาราง 14 (ต่อ)

รายละเอียดของปฏิบัติการ	ระดับคุณภาพของบทปฏิบัติการ ผู้เชี่ยวชาญ			ค่าเฉลี่ย	แปลผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
- วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสามารถหาได้ง่ายทั่วๆไป และราคาไม่แพง - สารเคมีที่คิดและออกแบบมาใช้ในการ ทดลองนี้เพื่อให้ปลอดภัยต่อผู้เรียน และง่ายต่อการจัดหาของครู					
5. วิธีการทดลอง เป็นขั้นตอนที่ออกแบบมาให้สอดคล้องกับวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี และเป็นส่วนที่นำไปสู่การค้นหาคำตอบที่ผู้เรียนจะได้จากการทำการทดลองได้	4.00	4.00	4.00	4.00	ระดับดี
6. ผลการทดลอง แบบบันทึกกิจกรรม แบบสรุปกิจกรรม เป็นส่วนที่ผู้เรียนได้นำคำตอบที่ได้จากการทดลองมาตอบและได้ผ่านกระบวนการทางความคิดและวิเคราะห์ผลการทดลอง และในส่วนของใบสรุปกิจกรรมเป็นตำตอบที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4.00	4.00	4.00	4.00	ระดับดี
7. คำถามท้ายการทดลอง ใช้ตอบโจทย์ของการทดลองได้เป็นการนำความรู้เดิมมาประกอบ	4.00	4.00	4.00	4.00	ระดับดี

ตาราง 14 (ต่อ)

รายละเอียดของปฏิบัติการ	ระดับคุณภาพของบทปฏิบัติการ ผู้เชี่ยวชาญ			ค่าเฉลี่ย	แปลผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
กับความรู้ที่ได้จากการทำปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมานี้ โดยมีการเชื่อมโยงในส่วนของทฤษฎี เนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ ผลการทดลอง ประกอบเป็นองค์ความรู้ของตนเองได้					
ค่าเฉลี่ยรวม				4.23	ระดับดีมาก

ค่าเฉลี่ยคุณภาพในแต่ละด้านและแปลความหมายค่าเฉลี่ยของบทปฏิบัติการโดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

1.00-1.80 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพน้อยที่สุด

1.81-2.60 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพน้อย

2.61-3.40 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพปานกลาง

3.41-4.20 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพมาก

4.21-5.00 หมายถึง บทปฏิบัติการมีคุณภาพมากที่สุด

ตาราง 15 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาก-ง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ข้อที่	ค่าความยาก-ง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
1	0.80	0.33
2	0.80	0.20
3	0.48	0.50
4	0.60	0.30
5	0.56	0.23
6	0.47	0.20
7	0.65	0.58
8	0.34	0.74

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ (reliability) เท่ากับ 0.56 การคัดเลือกแบบทดสอบเพื่อใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีค่าความยาก-ง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.34-0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป แบบทดสอบที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมานี้เป็นแบบทดสอบคู่ขนาน โดยแบบทดสอบทุกข้อนั้นมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของบทปฏิบัติการ ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบนี้เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน ความเข้าใจและการพัฒนาความรู้แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

ภาคผนวก ง

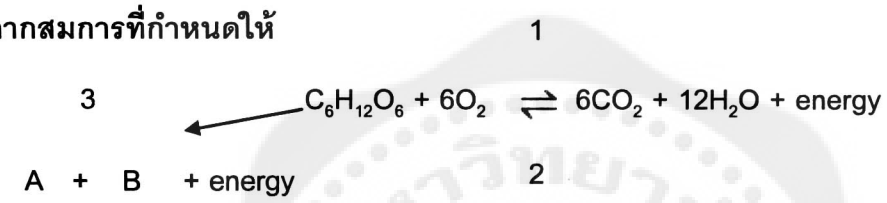
- แบบทดสอบหลังเรียน

แบบทดสอบ (Posttest)
บทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ชื่อ-นามสกุล ..... สาขาวิชา ..... ชั้นปีที่ .....

<u>คำชี้แจง</u> ตอบคำถามข้อที่ 1-7 โดยเติมเครื่องหมาย <u>(√) เมื่อเห็นว่าข้อความนั้นถูก</u> และเติมเครื่องหมาย <u>(×) เมื่อเห็นว่าข้อความนั้นผิด</u> และให้เหตุผลประกอบ (ข้อละ 2 คะแนน)

จากสมการที่กำหนดให้



1. ☐ จากสมการที่ 1 คือกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน หรือปฏิกิริยา Exergonic reaction
ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

2. ☐ จากสมการที่ 1 และ 3 เมื่อมีการติดตามผลโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิลดลง ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

3. ☐ จากสมการที่ 1, 2 และ 3 เมื่อมีการติดตามผลการทดลองด้วยน้ำปูนใส สมการที่ 2 และ 3 ทำให้เกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

4. ☐ จากสมการที่ 2 เมื่อมีการติดตามผลการทดลองโดยใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลู เมื่อเวลาผ่านไป น้ำสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูจะเปลี่ยนจากสีฟ้าไปเป็นสีเหลือง
ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

5. ☐ จากสมการที่ 3 ทำการทดสอบ สารผลิตภัณฑ์ A ไม่มีกลิ่น สารผลิตภัณฑ์ B ทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ แล้วเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น
ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

6. ☐ $CuSO_4$ เปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีฟ้า แสดงให้เห็นว่าเกิดจากสมการที่ 3
ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

7. ☐ จากการทดลอง ใบวาสนาลอยขึ้นมาที่ระดับน้ำที่กำหนดไว้ แสดงว่าเกิดจากสมการที่ 1
ถ้าผิดจงให้เหตุผล.....

<u>คำชี้แจง</u> **ตอบคำถาม 8 โดยเติมคำลงในช่องว่างเพื่อให้สมบูรณ์** (ข้อละ 1 คะแนน)

8. เมื่อพิจารณาจากสมการที่กำหนดให้ สมการที่ 1 คือปฏิกิริยาเคมีชนิดใด .....
สมการที่ 1 กับ 3 มีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เหมือนกันหรือแตกต่างกัน อย่างไร

.....

A คือ ..... B คือ ..... ปฏิกิริยานี้คือ .....
สมการที่ 2 มีการนำแหล่งพลังงานที่ได้เก็บไว้รูปแบบใด ยกตัวอย่าง

.....

<u>เฉลยข้อสอบปรนัย ถูก-ผิด และให้เหตุผลประกอบ</u>

ข้อที่ 1. จากสมการที่ 1 คือกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน หรือปฏิกิริยา Exergonic reaction ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ถูก

ข้อที่ 2. จากสมการที่ 1 และ 3 เมื่อมีการติดตามผลโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิลดลง ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด เพราะสมการทั้ง 1 และ 3 เป็นการหายใจแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน เป็นปฏิกิริยาคายพลังงานออกและพลังงานที่วัดได้จะเพิ่มขึ้น

ข้อที่ 3. จากสมการที่ 1, 2 และ 3 เมื่อมีการติดตามผลการทดลองด้วยน้ำปูนใส สมการที่ 2 และ 3 ทำให้เกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด ที่เกิดตะกอนต้องมี CO_2 ออกมาทำปฏิกิริยากับน้ำปูนใส จะเกิดขึ้นเฉพาะสมการที่ 3 เท่านั้น เพราะเป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนสมการที่ 2 เป็นการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งกระบวนการนี้ไม่ให้ CO_2 ออกมาทำปฏิกิริยากับน้ำปูนใส

ข้อที่ 4. จากสมการที่ 2 เมื่อมีการติดตามผลการทดลองโดยใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลู เมื่อเวลาผ่านไป น้ำสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูจะเปลี่ยนจากสีฟ้าไปเป็นสีเหลือง ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด น้ำสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูจะเปลี่ยนจากสีฟ้าไปเป็นสีเหลือง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับ CO_2 แต่ในสมการที่ 2 เป็นกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นการดึงเอา CO_2 ที่อยู่ในน้ำสีสารละลายโบรโมไทมอลบลูไปใช้ในปฏิกิริยาจะทำให้น้ำสีของสารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีฟ้า

ข้อที่ 5. จากสมการที่ 3 ทำการทดสอบ สารผลิตภัณฑ์ A ไม่มีกลิ่น สารผลิตภัณฑ์ B ทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ แล้วเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด สมการที่ 3 เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ ได้สารผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกลิ่น คือ CO_2 (สาร A) ส่วนสาร B ต้องเป็นเอทานอล ซึ่งมีกลิ่นเกิดขึ้นและสารที่ปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ แล้วเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้น คือ CO_2 (สาร A)

ข้อที่ 6. $CuSO_4$ เปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีฟ้า แสดงให้เห็นว่าเกิดจากสมการที่ 3 ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด $CuSO_4$ เปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีฟ้า เนื่องใช้ทดสอบน้ำที่เป็นสารผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (สมการที่ 1) ส่วนสมการที่ 3 ปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ของยีสต์ไม่มีน้ำเกิดขึ้น $CuSO_4$ จึงไม่ได้ใช้ทดสอบในสมการนี้

ข้อที่ 7. จากการทดลอง ใบวาสนาลอยขึ้นมาที่ระดับน้ำที่กำหนดไว้ แสดงว่าเกิดจากสมการที่ 1 ถ้าผิดจงให้เหตุผล

คำตอบ ผิด ในการทดลองใบวาสนาลอยขึ้นมาเพราะเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชซึ่งเป็นสมการที่ 2 ไม่ใช่สมการที่ 1

เฉลยข้อสอบอัตนัย

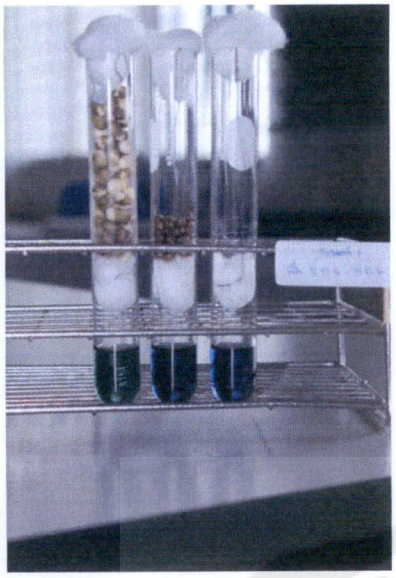
ข้อที่ 8. เมื่อพิจารณาจากสมการที่กำหนดให้ สมการที่ 1 คือปฏิกิริยาเคมีชนิดใด **คายพลังงาน (Exergonic reaction)** สมการที่ 1 กับ 3 มีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร **เหมือนกัน เพราะเป็นปฏิกิริยาคายพลังงานเหมือนกัน**

A คือ CO_2 B คือ **เอทานอล** ปฏิกิริยานี้คือ **การหมักหรือการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์**

สมการที่ 2 มีการนำแหล่งพลังงานที่ได้เก็บไว้รูปแบบใด ยกตัวอย่าง **พลังงานเคมี เช่น น้ำตาลหรือแป้ง**

ภาคผนวก จ

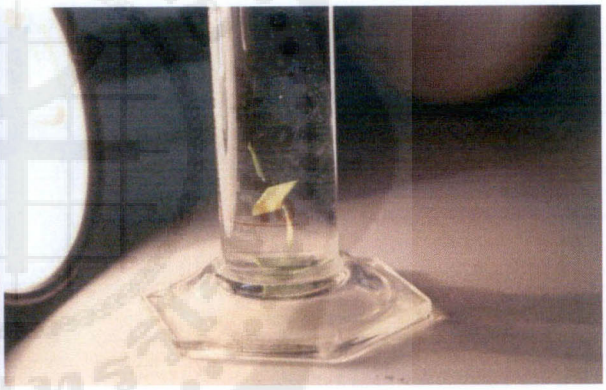
- ภาพตัวอย่างบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน



1. ทดสอบชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

2. ทดสอบหาอัตราการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

3. ทดสอบการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก



4. ทดสอบหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืช

ภาพประกอบ 5 ภาพตัวอย่างบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน

ภาคผนวก ฉ

ภาพตัวอย่างการทดสอบสอนจริงกับผู้เรียนกลุ่มที่ศึกษา

ภาพประกอบ 6 ภาพตัวอย่างการทดสอบสอนจริงกับผู้เรียนกลุ่มศึกษา

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายทรงกลด ใบยา
วัน เดือน ปีเกิด	วันจันทร์ที่ 28 ธันวาคม 2524
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 151หมู่ 1 ตำบลแสนทอง
	อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานในปัจจุบัน	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2543	มัธยมศึกษาตอนปลายปีที่ 6
	จากโรงเรียนท่าวังผาพิทยาคม จังหวัดน่าน
พ.ศ. 2548	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) (ชีววิทยาประยุกต์)
	จากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
พ.ศ. 2558	ปริญญาโท การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) (ชีววิทยา)
	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ