การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

นิตยา ภูผาบาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กันยายน 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ นิตยา ภูผาบาง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สนธิ พลชัยยา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา มาสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์)

.....กรรมการ
(ดร.สนธิ พลชัยยา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 20 เดือน กันยายน พ.ศ. 2559

ทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ดร.สนธิ พลชัยยา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เอกพงษ์ สุวัฒนมาลา และ อาจารย์ ดร.ประภาพรรณ เตชะเสาวภาคย์ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และวิจารณ์ผลงานทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบรวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้อำนวยการ โรงเรียนชลกันยานุกูล ตลอดจนเพื่อนครูและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าของหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัยทุกเล่มที่เป็นข้อมูลในการทำวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน และน้อง ๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือ ประสานงานต่าง ๆ ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดมา

เนื่องจากงานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบผลสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

นิตยา ภูผาบาง

56920132: สาขาวิชา: เคมีศึกษา; วท.ม. (เคมีศึกษา)
คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา/ พลาสติกชีวภาพ/ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

นิตยา ภูผาบาง: การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (THE USE OF A STEM ACTIVITY ON BIOPLASTICS FROM CASSAVA TO DEVELOP INTEGRATED SCIENCE PROCESS SKILLS FOR MATHAYOMSUKSA 2 STUDENTS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุปราณี แก้วภิรมย์, Ph.D., สนธิ พลชัยยา, Ph.D. 198 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 และเพื่อเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระหว่างกิจกรรมที่ 1 (คาบเรียนที่ 1-4) และกิจกรรมที่ 2 (คาบเรียนที่ 5-6) โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 52 คน ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง และเมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลง แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น และแผ่นฟิล์มที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า กิจกรรมเรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษาและส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการผ่านการทำกิจกรรม และนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในกิจกรรมที่ 2 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสูงกว่ากิจกรรมที่ 1

56920132: MAJOR: CHEMICAL EDUCATION; M.Sc. (CHEMICAL EDUCATION)
KEYWORDS: STEM EDUCATION/ BIOPLASTICS/ INTEGRATED SCIENCE PROCESS SKILLS

NITTAYA PHUPHABANG: THE USE OF A STEM ACTIVITY ON BIOPLASTICS FROM CASSAVA TO DEVELOP INTEGRATED SCIENCE PROCESS SKILLS FOR MATHAYOMSUKSA 2 STUDENTS. ADVISORY COMMITTEE: SUPRANEE KAEWPIROM, Ph.D., SONTHI PHONCHAIYA, Ph.D. 198 P. 2016.

The purposes of this research were to study factors affecting physical properties of cassava film, to design a STEM activity on bioplastics from cassava starch in order to develop integrated science process skills for Mathayomsuksa 2 students, and to develop integrated science process skills of students by STEM activity on bioplastics from cassava starch. 52 Students of eighth grade from Chonkanyanukoon School were selected as a sample by purposive sampling technique. Experimental showed that ultimate tensile strength and Young's modulus of the bioplastics increased, while percent elongation decreased with increasing hydrochloric acid content ultimate tensile strength and Young's modulus of the bioplastics decreased, while percent elongation increased when glycerol content was increased. It was also found that coated bioplastic films showed lower percentage of swelling than that of the un-coated film. Based-on the evaluation by the experts, the designed activity was in good accordance with education approaches and it could help to promote integrated scientific process skills for students through the activity. Moreover, students who participated in STEM activity on the topic of bioplastics from cassava starch, showed the enhanced integrated science process skills in 2^{nd} activity compared with the 1^{st} activity.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

สมมติฐานของการวิจัย 5

กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 6

ขอบเขตของการวิจัย 6

นิยามศัพท์เฉพาะ 8

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

พลาสติกชีวภาพ 10

กระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา 17

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 22

การประเมินผลทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

3 วิธีดำเนินการวิจัย 35

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 37

การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 42

การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย	51
ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	51
ผลการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	54
ผลการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง	58
5 อภิปรายและสรุปผล	75
สรุปผลการวิจัย	75
อภิปรายผลการวิจัย	76
ปัญหาที่พบในการดำเนินการศึกษา	81
ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก	91
ภาคผนวก ข	101
ภาคผนวก ค	145
ภาคผนวก ง	154
ภาคผนวก จ	156
ภาคผนวก ฉ	167
ภาคผนวก ช	186
ประวัติย่อของผู้วิจัย	198

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	11
2	ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่าง ๆ	14
3	ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M ที่เติมลงไปในแต่ละบีกเกอร์	38
4	ปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไปในแต่ละบีกเกอร์	39
5	ผลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง	51
6	ผลของกลีเซอรอลที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง	52
7	ผลของสารเคลือบผิวแผ่นฟิล์มที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงและการบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง	53
8	ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	55
9	ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	56
10	ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	57
11	เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	58
12	เปรียบเทียบทักษะการตั้งสมมติฐานของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	60
13	เปรียบเทียบทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	61
14	เปรียบเทียบทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปรของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	62
15	เปรียบเทียบทักษะการทดลองของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	63
16	เปรียบเทียบทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุปของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2	65
17	ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 1: การตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 2: การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	67
19	ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 3: การกำหนดและควบคุมตัวแปร	68
20	ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 4: การทดลอง	69
21	ผลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง	92
22	ผลของกลีเซอรอลที่มีต่อลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง	92
23	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 0% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	93
24	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 25% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	93
25	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 50% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	94
26	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 0% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	94
27	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 31.5% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	95
28	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 63% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง	95
29	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว	96
30	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยขี้ผึ้งพาราฟิน	96
31	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยซิลิโคน	97
32	ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอะคริลิค	97
33	ผลการทดสอบการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารกันน้ำทดสอบโดยการวัดความยาวของแผ่นฟิล์ม	98
34	ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	155
35	ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมายเรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	155

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

36 เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการรายกลุ่มจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษากิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2 (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) 158

37 เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการรายด้านจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษากิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2..... 159

38 ผลคะแนนในกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพของนักเรียน 160

39 ผลคะแนนในกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพของนักเรียน 161

40 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ (หลักฐานเชิงประจักษ์)..... 162

41 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ (จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติได้) 165

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
2	โครงสร้างของกลูโคส (ก) โครงสร้างแบบเส้น (ข) โครงสร้างแบบวงแหวน	11
3	โครงสร้างของอะไมโลส	12
4	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	13
5	เม็ดพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	16
6	ระดับการบูรณาการในชั้นเรียนสะเต็มศึกษา	18
7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	36
8	เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์	41
9	การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	99
10	การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยซิลิโคนเมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	99
11	การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยอะคริลิค เมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	100
12	การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยขี้ผึ้งพาราฟิน เมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	100

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สังคมโลกในปัจจุบันก้าวสู่ยุคที่มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยี การติดต่อสื่อสาร ซึ่งทุกคนสามารถนำความรู้จากข้อมูล ข่าวสารและเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ให้เป็นประโยชน์เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในงานอาชีพของตนและสังคม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมคนรุ่นใหม่ให้มีทักษะที่จำเป็น และมีความพร้อมสำหรับการปรับตัวและการดำรงชีวิตในสังคมปัจจุบัน การศึกษาวิทยาศาสตร์นับเป็นปัจจัยลำดับต้น ๆ ที่ควรได้รับการพัฒนาและจากการศึกษาพบว่าการศึกษาวิทยาศาสตร์อย่างมีคุณภาพสามารถช่วยพัฒนาทักษะ เช่น ช่วยพัฒนาทักษะการคิดระดับสูง การแก้ปัญหา รวมทั้งการสื่อสารและความร่วมมือได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ รวมทั้งส่งเสริมให้มีการฝึกปฏิบัติด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (สุพรรณี ชาญประเสริฐ, 2557) การพัฒนาการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้ เกิดทักษะกระบวนการ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ สามารถทำได้โดยจัดให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมมากที่สุดและได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ครูผู้สอนจึงเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเรียนรู้และจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาผู้เรียน (รพีพรรณ พงษ์ปลื้ม และนวลศรี ชำนาญกิจ, 2557)

ผลจากการทดสอบความรู้และทักษะด้านการอ่านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์โดย PISA และ TIMSS แสดงให้เห็นว่าเยาวชนไทยมีคะแนนด้อยกว่าเยาวชนอีกหลายประเทศ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการเรียนแบบท่องจำ แต่ขาดทักษะในการคิดวิเคราะห์และสังเคราะห์ (มนตรี จุฬาวัฒนทล, 2556) ครูไทยจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีจัดการเรียนการสอน ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการของผู้เรียน เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้มากที่สุด หลักสูตรหรือการจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกันหรือที่เรียกว่า “สะเต็มศึกษา” มีเป้าหมายสำคัญเพื่อนำผู้เรียนไปสู่การคิดแก้ปัญหาและสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงบทเรียนในห้องเรียนเข้ากับการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้จริง การจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการหลักการสะเต็มศึกษาเข้าไปในหลักสูตรหรืออาจนำมาใช้เพียงบางส่วนของเนื้อหาวิชา ก็นับว่าได้มีการผสมผสานการเรียนรู้แบบผู้เรียนเป็นสำคัญเพราะผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตลอดชีวิต (สนธิ พลชัยยา, 2557) ซึ่งการจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง สะเต็มศึกษานี้สอดรับนโยบายของพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 มาตรา 24 ข้อ 1-3 ที่กล่าวสรุปได้ว่า "การจัดกระบวนการเรียนรู้ ต้องจัดให้สอดคล้องกับความสนใจและความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน ฝึกทักษะกระบวนการคิด การเผชิญสถานการณ์ ประยุกต์ความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหาและให้ได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกปฏิบัติให้ "คิดเป็นทำเป็น และแก้ปัญหาเป็น" ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้อย่างเต็มศักยภาพ สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง และรู้จักแสวงหาความรู้ได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษายังเป็นการสอนที่สนับสนุนและสอดคล้องกับแนวทางที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แนวทางการจัดการศึกษาในมาตรา 22 ถึง มาตรา 30 ที่เน้นให้สถานศึกษาพัฒนาหลักสูตรและหน่วยการเรียนรู้บูรณาการ (มาตรา 27 และ 28) เน้นให้จัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (มาตรา 22, 23, 24) โดยเฉพาะ มาตรา 24(5) ส่งเสริม สนับสนุนให้ผู้สอนจัดบรรยากาศ สภาพแวดล้อม สื่อการเรียนและอำนวยความสะดวกเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความรอบรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ ทั้งนี้ผู้สอนและผู้เรียนอาจเรียนรู้ไปพร้อมกันจากสื่อการเรียนการสอนและแหล่งวิทยาการประเภทต่าง ๆ (พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข, 2558) จุดมุ่งหมายสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์คือ การสอนให้ผู้เรียนสามารถใช้กระบวนการคิดด้วยตนเองได้ และช่วยให้ผู้เรียนเกิดทักษะที่สำคัญ โดยเน้นให้ผู้เรียนสามารถตั้งสมมติฐานได้ และสามารถจัดการข้อมูลต่าง ๆ ด้วยทักษะการคิดอย่างมีเหตุผล ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนขยายแนวความคิดจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้และเชื่อมโยงข้อมูลเหล่านั้นเพื่ออธิบายโดยภาพรวมของปรากฏการณ์ใด ๆ ได้อย่างมีเหตุผล ดังนั้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจึงเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิตและช่วยพัฒนาทักษะในการสื่อสาร ความคิดเชิงวิจารณ์ และทักษะในการแก้ปัญหา (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2551)

จากการสังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียน ในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ผู้วิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ชอบปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง แต่ไม่สามารถที่จะใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแสวงหาความรู้ได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะกระบวนการขั้นบูรณาการ ซึ่งประกอบด้วย ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการให้กับนักเรียน เนื่องจากทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เป็นทักษะ

สำคัญที่แสดงถึงการมีกระบวนการคิดอย่างมีเหตุผล ทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ สามารถเรียนรู้ และพัฒนาตนเองไปสู่กระบวนการคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อเสริมสร้างทักษะและกระบวนการในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหา และให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนในชั้นเรียนกับนวัตกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้ (กวิน เชื่อมกลาง, 2556) และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา มีผลการเรียน ทักษะการแก้ปัญหา และเจตคติต่อการเรียนดีขึ้น ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการบูรณาการสะเต็มศึกษาผ่านการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม จะสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ รวมทั้งสามารถนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม ทำให้ผู้เรียนสนุกสนาน และไม่เบื่อหน่ายการเรียน (รักษพล ธนานุวงศ์, 2556) ดังที่ พลศักดิ์ แสงพรมศรี (2558) ได้ทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงและเจตคติต่อการเรียนเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงและเจตคติต่อการเรียนเคมีสูงกว่าการเรียนรู้แบบปกติ นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ คะนึงนิจ จันทรมณี (2557) ที่ได้ทำวิจัยโดยการนิเทศ ติดตามผลการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM โดยใช้หุ่นยนต์บูรณาการในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนใจเรียนมากขึ้น การจัดกิจกรรมโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยเสริมและฝึกสมาธิ โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนที่เรียนช้าและกลุ่มนักเรียนที่ไม่ค่อยสนใจเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมดีขึ้น

สำหรับแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้น ครูผู้สอนต้องผนวกองค์ประกอบสำคัญของการเรียนการสอน 2 ด้าน คือ ด้านบริบท (Context) ซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนเอง และ ด้านเนื้อหา (Content) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานที่สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Pellegrino & Hilton, 2012 อ้างถึงใน พลศักดิ์ แสงพรมศรี, 2558) และจากงานวิจัยของ พรรณี อุดมโภชน์, อภิษฐา จันทรประเสริฐ และวิรัญญา แก้ววัฒนะ (2554) ที่ศึกษาแนวคิดเรื่อง พอลิเมอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดเรื่องมลพิษจากการใช้พอลิเมอร์ในระดับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วนในเรื่องความหมายของพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ และเรื่องเทคโนโลยีเกี่ยวกับพอลิเมอร์ และจากงานวิจัยของ จันทร์จิรา ภมรศิลปะธรรม (2551) ที่ศึกษาแนวคิดเรื่องปิโตรเลียมและพอลิเมอร์ กล่าวว่า แนวคิดเรื่องนี้ยากสำหรับนักเรียน มีศัพท์ที่นักเรียนไม่คุ้นเคย โดยนักเรียนบางคนเข้าใจว่า พอลิเมอร์คือแก๊สชนิดหนึ่ง และแม้หลังจาก

เรียนแล้วนักเรียนก็ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ในระดับโมเลกุลสู่ระดับมหภาคได้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเนื้อหาเกี่ยวกับพอลิเมอร์มาใช้ในสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เนื่องจากพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันและเศรษฐกิจ มีการใช้วัสดุเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น พอลิเมอร์จึงเป็นเนื้อหาที่สำคัญและจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ มีการบรรจุเนื้อหาเรื่อง พอลิเมอร์ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีวัตถุประสงค์ให้นักเรียนได้มีความรู้ ความเข้าใจและสามารถนำความรู้เรื่องพอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์ได้และคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2552) โดยผู้วิจัยได้เลือกหัวข้อเกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ซึ่งจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง มาใช้ในการสร้างกิจกรรมการสอนสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยมีจุดมุ่งหวังเพื่อให้นักเรียนเกิดความคุ้นเคยกับศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ ที่จะสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนในชั้นเรียนกับนวัตกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งพลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรง ทนทาน และสมบัติการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไปแต่มีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยน้ำย่อยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2557) และปัจจุบันพลาสติกชีวภาพ ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมพลาสติกและผลิตภัณฑ์ เนื่องจากกระแสความสนใจในการแก้ไขปัญหาในเรื่องภาวะโลกร้อน โดยหันมาเน้นเรื่องสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดขยะและมลพิษ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2557) โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก สามารถย่อยสลายได้ เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ และเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งจะได้เป็นแนวทางในการทำโครงงาน หรือต่อยอดโครงงานของนักเรียนให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอน โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ นอกจากนี้แล้วกิจกรรมที่ออกแบบขึ้นยังสามารถสร้างจิตสำนึกรักษาสภาวะแวดล้อมที่กำลังเป็นปัญหาอยู่ในสังคมโลกปัจจุบัน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังนี้ จะสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการขั้นบูรณาการของนักเรียนให้ดีขึ้น และกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจที่จะศึกษาหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

2. เพื่อสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

3. เพื่อเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระหว่างกิจกรรมที่ 1 (คาบเรียนที่ 1-4) และกิจกรรมที่ 2 (คาบเรียนที่ 5-6) โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

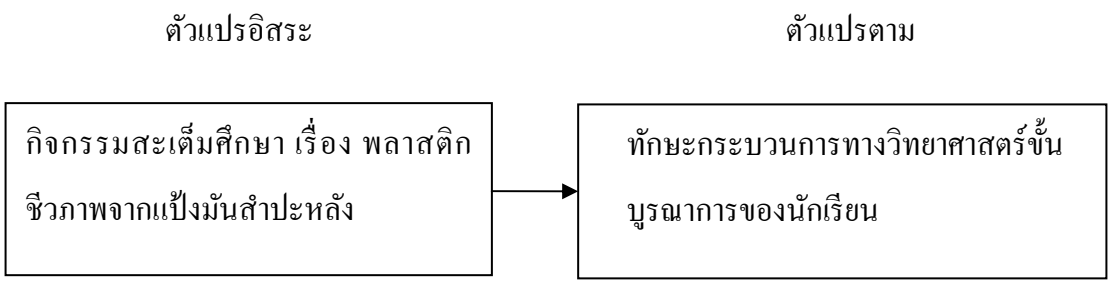
สมมติฐานของการวิจัย

1. ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก กลีเซอรอล และชนิดของสารเคลือบผิวมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

2. นักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในกิจกรรมที่ 2 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสูงกว่ากิจกรรมที่ 1

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีแนวคิดการวิจัย อธิบายโดยแสดงให้เห็นภาพความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่จะศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่จะช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนให้ดีขึ้นได้

2. นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้ในเนื้อหาวิชาอื่น ๆ ได้

3. เป็นแนวทางสำหรับครูผู้สอนในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในรายวิชาอื่น ๆ

4. ทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

5. เป็นแนวทางสำหรับต่อยอดวิจัยหรือสร้างผลิตภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก ปริมาณกลีเซอรอล และชนิดของสารเคลือบผิวแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ซิลิโคน อะคริลิค และขี้ผึ้งพาราฟิน

1.2 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่

1.2.1 การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ (Universal testing machine) และบันทึกค่ามอดูลัสของยัง ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

1.2.2 การศึกษาปริมาณการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มด้วยการนำแผ่นฟิล์มแช่ในน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วหาค่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม

ตอนที่ 2 การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

1. สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการสอน ซึ่งประกอบด้วย

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

1.2 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู

1.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

1.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

1.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview)

2. หาคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย

2.1 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.2 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.3 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

2.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 6 ห้องเรียน จำนวน 309 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 2) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 1 ห้องเรียน 52 คน ซึ่งเลือกมา โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เนื่องจากเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ กลุ่มที่มีความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์สูงและและมีคาบเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 2) ที่สะดวกต่อการใช้กิจกรรมและเก็บข้อมูลของผู้วิจัย

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรอิสระ คือ กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

2.2 ตัวแปรตาม คือ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ใช้เวลาในการดำเนินการศึกษาครั้งละ 1 คาบ ๆ ละ 55 นาที จำนวน 6 ครั้ง โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดการเรียนรู้และเก็บรวบรวมข้อมูล

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา หมายถึง แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งแก้ปัญหาที่พบเห็นในชีวิตจริง รวมทั้งนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม มีการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) ประกอบด้วย การระบุปัญหา (Identify a challenge) การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas) การวางแผนและพัฒนา (Plan and develop) การทดสอบและประเมินผล (Test and evaluate) และการนำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution) ในงานวิจัยนี้จะวัดโดยใช้แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ หมายถึง ความสามารถและความชำนาญในการใช้ความคิดและกระบวนการคิดเพื่อค้นหาความรู้และแก้ปัญหาต่าง ๆ การคิดลักษณะนี้เป็นทักษะทางปัญญา ซึ่งเป็นการทำงานของสมอง ในงานวิจัยครั้งนี้ได้จำแนกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการออกเป็น 5 ทักษะ ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ในงานวิจัยนี้จะวัดโดยใช้แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรมและจากการทำงานที่ได้รับมอบหมาย

3. พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หมายถึง พลาสติกที่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมักทางชีวภาพในโรงปุ๋ยหมัก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารประกอบอินทรีย์ มวลชีวภาพ และต้องไม่ทิ้งสิ่งที่มองเห็นด้วยตาเปล่า สิ่งแปลกปลอมหรือสารพิษหลงเหลือไว้ ตามมาตรฐาน ISO 17088 หรือ EN 13432 หรือ ASTM D-6400 โดยมีแหล่งกำเนิดได้จากวัตถุดิบชีวมวล (Biomass) หรือวัตถุดิบทางการเกษตร ที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ (Renewable or bio-based)

4. เทอร์มอพลาสติก หมายถึง พอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ สามารถหลอมขึ้นรูปใหม่ซ้ำ ๆ ได้

5. สารพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) หมายถึง สารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างได้ดียิ่งขึ้น ลดความแข็งเปราะ เพิ่มคุณสมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น สารกลุ่มพอลิออลส์ (Polyols) เช่น กลีเซอรอล เป็นพลาสติไซเซอร์ที่เพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มและมีการซึมผ่านของน้ำได้ดี เนื่องจากสามารถลดพันธะไฮโดรเจนและเพิ่มระยะห่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ช่วยลดแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ เพิ่มความคล่องตัวของโซ่พอลิเมอร์ และการปรับปรุงลักษณะทางกลของฟิล์ม เช่น การขยายตัวของฟิล์ม

6. สมบัติทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพ หมายถึง การทดสอบแรงดึงและการศึกษาปริมาณการบวมน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

7. การทดสอบแรงดึง หมายถึง เป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ซึ่งการทดสอบแรงดึง มีวัตถุประสงค์ เพื่อวัดสมบัติความต้านทานของวัสดุต่อแรงดึง ในที่นี้จะมีการทดสอบสมบัติ คือ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว และค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)

8. ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด หมายถึง ความเค้นดึงสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของชิ้นงานที่ได้รับจนเกิดการขาด มีหน่วยเป็น MPa หรือ N/mm^2

9. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระยะของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด (Gage length) ของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมากแสดงว่าชิ้นงานนั้นสามารถเปลี่ยนรูปได้มากเมื่อได้รับแรงมากระทำ

10. ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) คือ ค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ มีหน่วยเป็น N/mm^2

11. การบวมน้ำ หมายถึง ความยาวหรือปริมาตรของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นเมื่อจุ่มหรือแช่อยู่ในน้ำ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอในหัวข้อต่อไปนี้

พลาสติกชีวภาพ

1. ความหมายของพลาสติกชีวภาพ

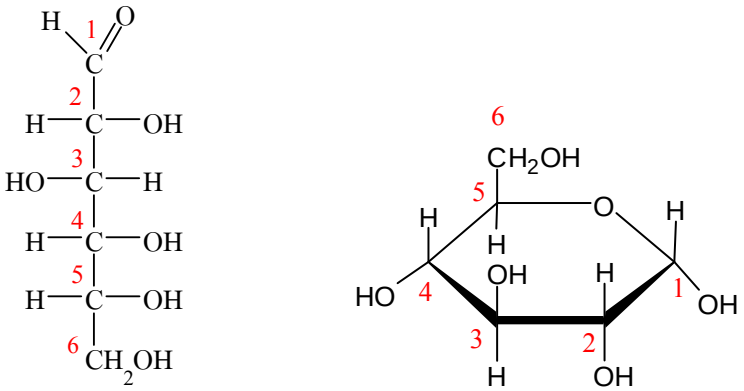
พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีคำจำกัดความตามมาตรฐาน (DIN103.2) ว่าการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของวัสดุพลาสติก เป็นกระบวนการที่พลาสติกถูกเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ โดยสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดต้องถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์มากกว่าร้อยละ 90 โดยที่สภาพแวดล้อม และอัตราการย่อยสลายจะถูกกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้เอนไซม์ การใช้จุลินทรีย์ หรือการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลาย (พิฑูร ตรีวิจิตรเกษม, 2554 อ้างถึงใน สิรพัฒน์ ชนะกุล และมณฑา ไก่หิรัญ, 2554) ได้ให้นิยามของพลาสติกชีวภาพ หรือ Bioplastics ไว้ในสองความหมายดังนี้

1.1 พลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ (Compostable plastics) คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมักทางชีวภาพในโรงปุ๋ยหมัก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารประกอบอินทรีย์ มวลชีวภาพ และต้องไม่ทิ้งสิ่งที่มองเห็นด้วยตาเปล่า สิ่งแปลกปลอมหรือสารพิษหลงเหลือไว้ ตามมาตรฐาน ISO 17088 หรือ EN 13432 หรือ ASTM D-6400 โดยมีแหล่งกำเนิดได้จากวัตถุดิบชีวมวล (Biomass) หรือวัตถุดิบทางการเกษตร ที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ (Renewable or bio-based) หรือวัตถุที่มาจากปิโตรเคมี (Non-renewable or petro-based)

1.2 พลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ (Bio-based plastics) คือ พลาสติกที่ผลิตมาจากแหล่งวัตถุดิบชีวมวล หรือวัตถุดิบทางการเกษตรเท่านั้น ไม่รวมถึงที่ผลิตจากวัตถุดิบปิโตรเคมี ปัจจุบันใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-6866 สำหรับพิสูจน์ว่าพลาสติกเป็น Bio-based plastics หรือไม่ และมีสัดส่วนของแหล่งคาร์บอนใหม่ (C-14) เป็นเท่าใด

2. แป้ง (Starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์พื้นฐาน 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดยอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ที่ประกอบด้วยกลูโคสไม่เกิน 6,000 หน่วย (โครงสร้างของกลูโคส แสดงในภาพที่ 2) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 ไกลโคซิดิก ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคส 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 ไกลโคซิดิก และพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคส 15-45 หน่วยที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6 ไกลโคซิดิก (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546 อ้างถึงใน จิรนาถ บุญคง, 2554)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของกลูโคส (ก) โครงสร้างแบบเส้น (ข) โครงสร้างแบบวงแหวน
ที่มา: ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล (2558)

อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 (ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล, 2558)

ตารางที่ 1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4 ไกลโคซิดิก	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α-1,6 ไกลโคซิดิก
2. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	2. ข้นหนืดมากและใส

ตารางที่ 1 (ต่อ)

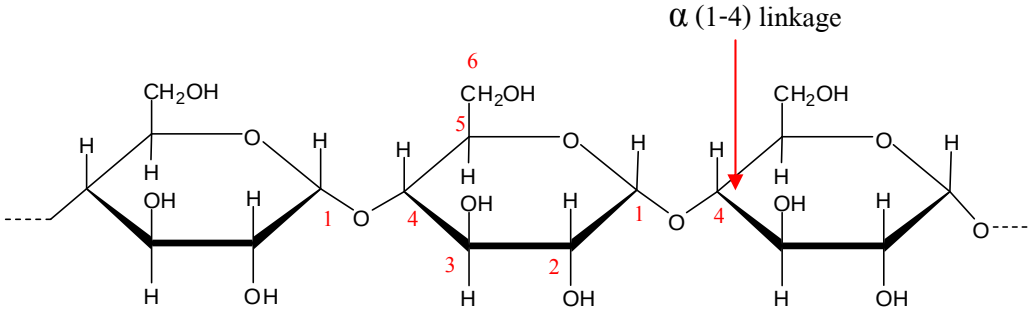
อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
3. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	3. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
4. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	4. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา: van Beynum and Roels (1985) อ้างถึงใน ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล (2558)

3. องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

3.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4 ไกลโคซิดิก อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985 อ้างถึงใน ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล, 2558) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลส

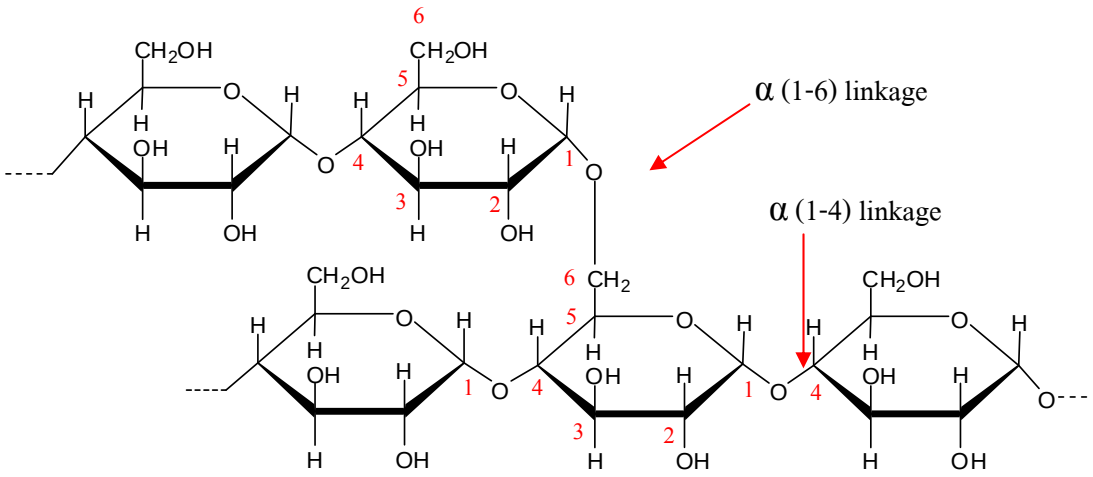
ที่มา: ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล (2558)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลส สูงประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 18-24%

3.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่กิ่ง ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α-1, 4 ไกลโคซิดิก ส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกัน

ด้วย พันธะ α-1, 6 ไกลโคซิดิก โดยโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพคตินมีประมาณ 75-80% ของแป้ง มีสูตรโครงสร้าง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน
ที่มา: ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล (2558)

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของแป้ง โดยมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ความใสและความหนืดของเพสต์ (Paste) แป้งที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและมีการพองตัวของเม็ดสตาร์ชช้าลง จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีอะไมโลสในปริมาณที่สูงมาก เมื่อต้มในน้ำเดือดเม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้น้อยเกินไปจนไม่สามารถพองตัวจนแตกออก ทำให้อะไมโลสไม่สามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะไม่เกิดเป็นเจล แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกันทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล, 2558) ปริมาณของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่าง ๆ

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)
ข้าวสาลี	25.8
ข้าวโพด	22.5
ข้าวเจ้า	20.5
ข้าวบาร์เลย์	23.6
มันฝรั่ง	16.9
มันสำปะหลัง	17.8
พุทธรักษา	22.7
ถั่วเขียว	30.7

ที่มา: Kasemsuwan et al. (1999) อ้างถึงใน ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล (2558)

3.3 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)

แป้งมันสำปะหลังผลิตได้จากหัวของต้นมันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Manihot utilissima และในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Tapioca starch, Cassava starch และ Manioc starch ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วย อะไมโลส และ อะไมโลเพคติน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรกสายพอลิเมอร์ของอะไมโลสเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ มีอะไมโลสบางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอกของอะไมโลเพคติน และยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับตัวกันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวสูง บริเวณนี้เรียกว่า บริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline regions) หรือ ไมเซลล์ (Micelles) เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะไบรีฟริงเจนส์ (Birefringence) ของเม็ดแป้งบริเวณที่เป็นผลึกนี้ มีความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สองโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ พอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้ เรียกว่า บริเวณอสัณฐาน (Amorphous regions) เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี และพองตัวได้ง่าย

4. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2557)

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ในธรรมชาติโมเลกุลแป้งจะมีการจัดเรียงตัวเกิดเป็นโครงสร้างกึ่งผลึกที่เป็น

ระเบียบในแกรนูลแป้ง (Starch granule) โครงสร้างระดับแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูง แนวทางการนำแป้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพ สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

4.1 การใช้แป้งเป็นฟิลเลอร์ (Filler) หรือสารตัวเติมในพลาสติก

การใช้แป้งในลักษณะนี้จะเป็นการผสมแป้งแห้งกับพลาสติกในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเนื้อพลาสติกที่มีเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ การผสมแป้งกับพลาสติกในลักษณะนี้จะเติมแป้งลงไปได้ในปริมาณไม่มากนัก โดยเฉพาะการผลิตฟิล์มบางมักจะผสมแป้งได้ไม่เกิน 10% ในช่วงแรกการผสมแป้งในพลาสติกส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ของพลาสติกผสม แต่การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตขึ้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้งด้วย หากเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น พอลิเอทิลีน พลาสติกผสมที่ผลิตได้จะเกิดการย่อยสลายเฉพาะในส่วนของแป้งเท่านั้น แต่แป้งไม่ได้ช่วยให้พอลิเอทิลีนเกิดการย่อยสลายได้ ดังนั้นจึงยังมีพอลิเอทิลีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หลงเหลืออยู่

เนื่องจากแป้งเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่พลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สารทั้งสองชนิดจึงผสมเข้ากันได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างพลาสติกกับแกรนูลแป้งจึงมีค่าต่ำ ทำให้พลาสติกผสมที่ได้มีความแข็งแรงและสมบัติเชิงกลต่ำ แนวทางการแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยการดัดแปรโครงสร้างแป้งให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้น หรืออาจใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เติมลงไปในระหว่างกระบวนการหลอมผสม

4.2 การผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch)

เทอร์โมพลาสติก หมายถึง พอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ภาชนะและชิ้นส่วนรูปทรงต่าง ๆ ได้ เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์องค์ประกอบของแป้งแล้ว แป้งน่าจะมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymer) แต่เนื่องจากแป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) ซึ่งเป็นหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ของโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลดังกล่าว สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลข้างเคียง จึงทำให้แรงยึดเหนียวระหว่างโมเลกุลมีค่าสูงมาก ดังนั้นในการขึ้นรูปแป้งถ้าหากไม่มีการเติมสารพลาสติไซเซอร์จะพบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แทนที่จะทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์องค์ประกอบใน

แป้งสามารถเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันได้ แต่กลับทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ในแป้งเกิดการสลายตัวแทน ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของพอลิเมอร์แบบเทอร์โมเซ็ต (Thermoset polymer) การเปลี่ยนแป้งให้มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกนั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารประเภทพลาสติไซเซอร์เพื่อทำหน้าที่ลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง ซึ่งโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์จะไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งเป็นผลทำให้พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งลดน้อยลง ดังนั้นสายโซ่โมเลกุลของแป้งจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นโดยใช้พลังงานลดลง (วันชัย เลิศวิจิตรจรัส, อำนาจ สิทธัตตระกูล และเจกิตาน์ แก้วพารา, 2554) ได้สารที่เรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช หรือ เรียกย่อว่า TPS เม็ดพลาสติก TPS (ภาพที่ 5) ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เอกซ์ทรูเดอร์ เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม ฯลฯ

ภาพที่ 5 เม็ดพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

ถึงแม้น้ำจะทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ของแป้งได้ดี แต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะ จึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช พลาสติไซเซอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มากที่สุดคือ กลีเซอรอล แต่การใช้กลีเซอรอลเป็น พลาสติไซเซอร์ก็มีข้อด้อยอยู่บ้าง อย่างไรก็ดีพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือมีสมบัติเชิงกลต่ำ (Poor mechanical properties) และไม่ทนน้ำ เนื่องจากสามารถดูดซับความชื้นได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งจากการดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ เพราะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก จึงมีสมบัติชอบน้ำสูง ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการนำชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษา การปรับปรุงสมบัติดังกล่าว ในหลากหลายวิธี เช่น ทำการปรับปรุงโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้น หรือ การใช้พลาสติไซเซอร์ที่ทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชต้านทาน

ความชื้นได้มากขึ้น หรือทำการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยการเคลือบสารบางอย่างที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (ไพโรจน์ ใบตาเฮ, 2555)

4.3 โฟมจากแป้ง (Starch-based foams)

โฟมจากแป้งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนโฟมที่ผลิตจากพอลิสไตรีน (Polystyrene) ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมหลายชนิด เช่น เม็ดโฟมกันกระแทก (Losse-fill) ถาดหรือจานโฟม และผลิตภัณฑ์โฟมอื่น ๆ โฟมที่ผลิตจากแป้งนอกจากจะสามารถย่อยสลายได้แล้ว ยังมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เพียงน้ำเป็นสารช่วยให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างโฟม (Blowing agent) เนื่องจากองค์ประกอบหลัก คือ แป้งทำให้โฟมที่ผลิตได้ไม่ทนน้ำและยังมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่าโฟมจากพอลิสไตรีน การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) พอลิคาโปรแลคโทน (Polycaprolactone) และพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid) มาผสมกับแป้ง เป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้ง

4.4 การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการหมัก (Starch as feed stock for fermentation process)

เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสจึงเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับกระบวนการหมักเพื่อผลิตสารหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ และกรด โดยสารต่าง ๆ ที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแป้ง กรดแลคติกได้รับความสนใจและมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ เนื่องจากกรดแลคติกเป็นมอนอเมอร์สำหรับใช้ในการผลิต polylactic acid หรือที่เรียกย่อว่า PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพที่มีศักยภาพสูงและมีการวิจัยและพัฒนามากที่สุดตัวหนึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

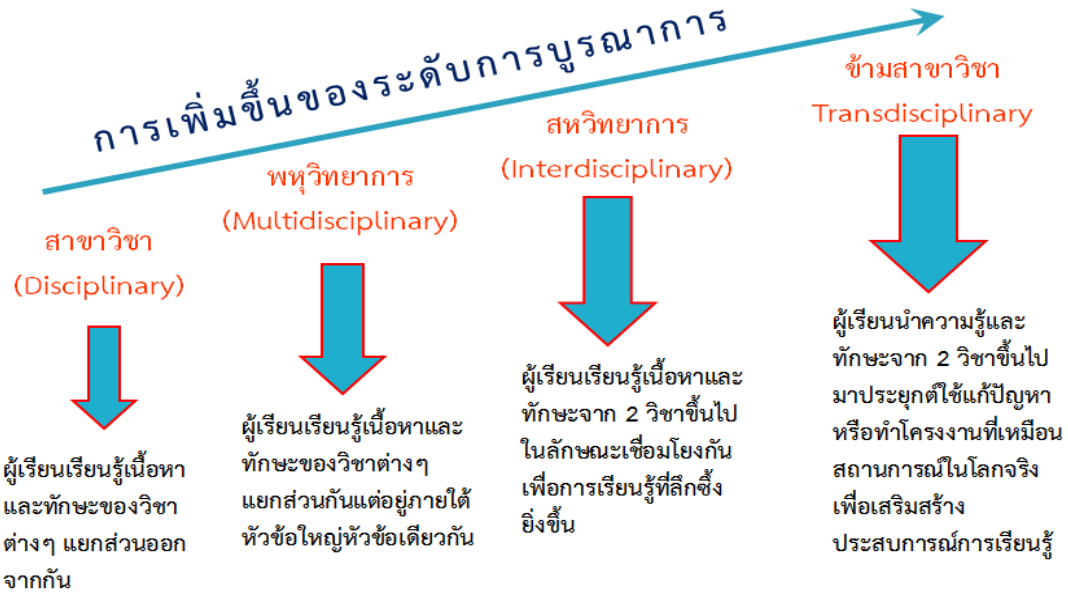
กระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

1. ความหมายของสะเต็มศึกษา (STEM Education)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) เป็นแนวทางจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งแก้ปัญหาที่พบเห็นในชีวิตจริง เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ ทักษะชีวิต ความคิดสร้างสรรค์ และเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนในการปฏิบัติงานที่ต้องใช้องค์ความรู้และทักษะกระบวนการด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม

2. ระดับการบูรณาการการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) กล่าวว่า ระดับการบูรณาการที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเรียนสะเต็มศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary), การบูรณาการแบบพหุวิทยากร (Multidisciplinary integration), การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary integration) และ การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary integration) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ระดับการบูรณาการในชั้นเรียนสะเต็มศึกษา

2.1 การบูรณาการภายในวิชา คือ การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะของแต่ละวิชาของสะเต็มแยกกัน การจัดการเรียนรู้แบบนี้คือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เป็นอยู่ทั่วไปที่ครูผู้สอนแต่ละวิชาต่างจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนตามรายวิชาของตนเอง

2.2 การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ คือ การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะของวิชาของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์แยกกัน โดยมีหัวข้อหลัก (Theme) ที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกัน และมีการอ้างอิงถึงความเชื่อมโยงระหว่างวิชานั้น ๆ การจัดการเรียนรู้แบบนี้ช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาในวิชาต่าง ๆ กับสิ่งที่อยู่รอบตัว

2.3 การบูรณาการแบบสหวิทยาการ คือ การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะอย่างน้อย 2 วิชาร่วมกันโดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชาเพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกัน ในการจัดการเรียนรู้แบบนี้ ครูผู้สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกันโดยพิจารณาเนื้อหาหรือตัวชี้วัดที่ตรงกันและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาของตนเองโดยให้เชื่อมโยงกับวิชาอื่นผ่านเนื้อหาหรือตัวชี้วัดนั้น

2.4 การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา คือ การจัดการเรียนการสอนที่ช่วยนักเรียนเชื่อมโยงความรู้และทักษะที่เรียนรู้จากวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์กับชีวิตจริง โดยนักเรียนได้ประยุกต์ความรู้และทักษะเหล่านั้นในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนหรือสังคม และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของตัวเอง ครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจหรือปัญหาของนักเรียน โดยครูอาจกำหนดกรอบ (Theme) ของปัญหากว้าง ๆ ให้นักเรียนและให้นักเรียนระบุปัญหาที่เฉพาะเจาะจงและวิธีการแก้ปัญหาเอง ทั้งนี้ในการกำหนดกรอบของปัญหาให้นักเรียนศึกษานั้น ครูต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยกับการเรียนรู้ของนักเรียน ได้แก่

2.4.1 ปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสนใจ

2.4.2 ตัวชี้วัดในวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.4.3 ความรู้เดิมของนักเรียน

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มีการบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา เนื่องจากมีจัดการเรียนรู้ที่เน้นปัญหาเป็นฐาน (Problem-based learning) ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการจัดการเรียนรู้ (Instructional strategies) ที่มีแนวทางใกล้เคียงกับแนวทางบูรณาการแบบนี้

3. แนวการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางของสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของสะเต็มศึกษาได้นำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการทำงานเพื่อสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการ ทั้งนี้หน่วยงานต่าง ๆ ทางด้านการศึกษาได้นำเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้มากมาย โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกัน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ตัวอย่างเช่น

3.1 สภาวิจัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (NationalResearch Council: NRC) ได้ร่วมกับสมาคมครูวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (The National Science Teachers Association: NSTA) และสมาคมเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ของอเมริกา (The American Association for the Advancement of Science: AAAS) กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ฉบับใหม่สำหรับประเทศ เรียกว่า (Next Generation Science Standard: NGSS) โดยเรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเสนอขั้นตอนการทำงานประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

การกำหนดปัญหา การพัฒนาแนวทางแก้ปัญหาและการลงมือปฏิบัติเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา โดยการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปแก้ไขได้

3.2 สมาคมนักเทคโนโลยีและวิศวกรรมศึกษานานาชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (International Technology and Engineering Educators Association: ITEEA) ได้กำหนดขั้นตอนของกระบวนการทำงานหรือกระบวนการแก้ปัญหาทางเทคโนโลยีไว้ในมาตรฐานการรู้เทคโนโลยี (Standards for Technological Literacy) และเรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานสำคัญ คือ การกำหนดปัญหา (Identifying the problem) สร้างแนวคิด (Generating ideas) ด้วยเทคนิคการระดมสมองและการดำเนินการวิจัย เพื่อสำรวจแนวคิดการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้การเลือกแนวคิดที่เหมาะสม (Selecting a solution) การทดสอบ (Testing the solution) ด้วยการสร้างแบบจำลอง (Models) และต้นแบบ (Prototypes) เพื่อตรวจสอบแนวคิดการแก้ปัญหาการปฏิบัติงาน (Making the item) ด้วยการสร้างชิ้นงานเพื่อนำไปแก้ปัญหา การประเมินผล (Evaluating it) ดำเนินการแก้ปัญหาด้วยชิ้นงานและประเมินว่าสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ และการนำเสนอผล (Presenting the results) ทั้งนี้การทำงานสามารถย้อนกลับเพื่อปรับปรุงแก้ไขได้ตลอดจนกระทั่งได้แนวทางที่เหมาะสมที่สุด (Optimum)

3.3 พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์บอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Museum of Science, Boston) ดำเนินโครงการพัฒนาเด็กให้รู้วิศวกรรมและเทคโนโลยี (Engineering and technological literacy) หรือเรียกว่า Engineering is Elementary (EiE) เพื่อวิจัยพัฒนาหลักสูตรขับเคลื่อนมาตรฐานและนำหลักสูตรไปใช้ในชั้นเรียนโดยบูรณาการแนวความคิดด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี และทักษะทางวิทยาศาสตร์โดยมีกลุ่มเป้าหมาย คือ เด็กนักเรียนในระดับประถมศึกษา (Grades 1-5) และใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย ค้นหาปัญหา สร้างแนวคิดและเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด วางแผนลงมือปฏิบัติ และตรวจสอบ

3.4 ศูนย์การเรียนการสอนสะเต็ม ของสมาคมเทคโนโลยีและวิศวกรรมศึกษานานาชาติ (International Technology and Engineering Educators Association's STEM Center for Teaching and Learning™) ได้พัฒนารูปแบบกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย กำหนดปัญหาหรือความต้องการ ค้นหาแนวคิด วางแผนและพัฒนาแนวคิด ทดสอบและประเมินผลและนำเสนอ ซึ่งการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ ได้

3.5 หน่วยงานการศึกษาและการฝึกอบรม ของรัฐนิวเซาท์เวลล์ประเทศออสเตรเลีย (NSW Department of education and training, Australia) ซึ่งรับผิดชอบจัดการศึกษาของรัฐได้เรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการเทคโนโลยี (Technology process) ประกอบด้วยการทำงาน 3

ระยะ คือ การสำรวจและกำหนดงาน การสร้างและพัฒนาแนวคิด การลงมือปฏิบัติ โดยในแต่ละระยะจะมีการวางแผนการจัดการและประเมินผลด้วยเสมอ

3.6 กระทรวงทางการศึกษา ประเทศอังกฤษ (Department for Education) กำหนดหลักสูตรการศึกษาแห่งชาติ ตลอดจนหลักสูตรของโรงเรียนนานาชาติที่ใช้ระบบอังกฤษ (UK National Curriculum, International GCSE and IB Diploma) และใช้กระบวนการทำงานว่า กระบวนการออกแบบ (Design process) ประกอบด้วย กำหนดความต้องการ รวบรวมข้อมูล สร้างแนวคิด พัฒนาแนวคิด ลงมือปฏิบัติและประเมินผล โดยการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปทำงานขั้นตอนต่าง ๆ ได้

3.7 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ขั้นตอน ได้แก่

3.7.1 การระบุปัญหา (Identify a challenge) ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่ผู้แก้ปัญหาตระหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ไขปัญหา ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงบางครั้งคำถามหรือปัญหาที่เราระบุอาจประกอบด้วยปัญหาย่อย ในขั้นตอนของการระบุปัญหา ผู้แก้ปัญหาต้องพิจารณาปัญหาหรือกิจกรรมย่อยที่ต้องเกิดขึ้นเพื่อประกอบเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาใหญ่ด้วย

3.7.2 การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas) หลังจากผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาย่อย ขั้นตอนต่อไป คือ การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาดังกล่าว ในการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องผู้แก้ปัญหาอาจมีการดำเนินการดังนี้

3.7.2.1 การรวบรวมข้อมูล คือ การสืบค้นว่าเคยมีใครหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวนี้แล้วหรือไม่ และหากมี เขาแก้ปัญหาอย่างไร และมีข้อเสนอแนะใดบ้าง

3.7.2.2 การค้นหาแนวคิด คือ การค้นหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและสามารถประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้ ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหาควรพิจารณาแนวคิดหรือความรู้ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหาและจดบันทึกแนวคิดไว้เป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดเหล่านั้นแล้วจึงประเมินแนวคิดเหล่านั้น โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดีและจุดอ่อน และความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

3.7.3 การวางแผนและพัฒนา (Plan and develop) หลังจากเลือกแนวคิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือการวางแผนการดำเนินงาน โดยผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละ

ขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน ในขั้นตอนของการพัฒนา ผู้แก้ปัญหาต้องวาดแบบและพัฒนาต้นแบบ (Prototype) ของผลผลิตเพื่อใช้ในการทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา

3.7.4 การทดสอบและประเมินผล (Test and evaluate) เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินอาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น การทดสอบและประเมินผลสามารถเกิดขึ้นได้หลายครั้งในกระบวนการแก้ปัญหา

3.7.5 การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution) หลังจากการพัฒนา ปรับปรุง ทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหาต้องนำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชน โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ ทั้งนี้การทำงานสามารถย้อนกลับเพื่อปรับปรุงแก้ไขได้ตลอดจนกระทั่งได้แนวทางที่เหมาะสมที่สุด

จากการนำเสนอกระบวนการทำงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบว่า มีรูปแบบและขั้นตอนการทำงานบางอย่างแตกต่างกัน แต่มีเป้าหมายเดียวกันคือทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักการวางแผนการแก้ปัญหา ใช้ทรัพยากร (Resources) อย่างคุ้มค่าภายใต้ข้อจำกัด (Constraints) สามารถคิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยแต่ละรูปแบบจะมีขั้นตอนหรือรายละเอียดคล้ายกัน ผู้วิจัยจึงเลือกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เข้าใจได้ง่าย และสอดคล้องกับบริบทของกิจกรรม ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุปัญหา 2) การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) การวางแผนและพัฒนา 4) การทดสอบและประเมินผล และ 5) การนำเสนอผลลัพธ์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1. ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นทักษะทางสติปัญญาที่นักวิทยาศาสตร์ได้นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ศึกษาค้นคว้า นักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไว้ต่าง ๆ ดังนี้

วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2532) ได้อธิบายว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เปรียบเสมือนเครื่องมือที่จำเป็นในการแสวงหาความรู้และแก้ปัญหา

ทิพวรรณ ไกรนรา (2550) ได้กล่าวว่า วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ประกอบด้วย ความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ พฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบนี้เรียกว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการทางปัญญา

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2551) ได้กล่าวว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถและความชำนาญในการใช้ความคิดและกระบวนการคิดเพื่อค้นหาความรู้และแก้ปัญหาต่าง ๆ การคิดลักษณะนี้เป็นทักษะทางปัญญา ซึ่งเป็นการทำงานของสมอง ไม่ใช่ทักษะที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิบัติการต่าง ๆ

2. องค์ประกอบของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

สมาคมอเมริกันเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542 อ้างอิงใน American Association for the Advancement of Science, 1970) ได้กำหนดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ 13 ทักษะ ประกอบด้วย ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน 8 ทักษะ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ ดังนี้

2.1 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ประกอบด้วย 8 ทักษะ

2.1.1 ทักษะการสังเกต

2.1.2 ทักษะการวัด

2.1.3 ทักษะการคำนวณ

2.1.4 ทักษะการจำแนกประเภท

2.1.5 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติกับมิติและมิติกับเวลา

2.1.6 ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล

2.1.7 ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล

2.1.8 ทักษะการพยากรณ์

2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ประกอบด้วย 5 ทักษะ

2.2.1 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร

2.2.2 ทักษะการตั้งสมมุติฐาน

2.2.3 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

2.2.4 ทักษะการทดลอง

2.2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

2.3 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน (Basic science process skills) มี 8 ทักษะดังนี้

2.3.1 ทักษะการสังเกต (Observation) หมายถึง ความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันเข้าสัมผัสโดยตรงกับวัตถุหรือปรากฏการณ์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อหารายละเอียดของสิ่งนั้น ๆ

2.3.2 ทักษะการวัด (Measurement) หมายถึง ความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดหาปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องโดยมีหน่วยกำกับและรวมไปถึงการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง

2.3.3 ทักษะการคำนวณ (Using numbers) หมายถึง ความสามารถในการบวก ลบ คูณ หาร ตัวเลขที่แสดงค่าปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งได้จากการสังเกต การวัด หรือ การทดลอง

2.3.4 ทักษะการจำแนกประเภท (Classification) หมายถึง ความสามารถในการจัดการจำแนกหรือเรียงลำดับวัตถุหรือสิ่งที่อยู่ในปรากฏต่าง ๆ ออกเป็นหมวดหมู่โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา 3 ประการ คือ ความเหมือน ความแตกต่าง และความสัมพันธ์

2.3.5 ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างมิติกับมิติ และมิติกับเวลา (Space/space relationship and space/time relationship) หมายถึง ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติกับ 3 มิติ สิ่งที่อยู่หน้ากระจกเงากับภาพในกระจกเป็นซ้ายขวาของกันและกันอย่างไร ตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลาหรือมิติของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา

มิติ (Space) ของวัตถุ หมายถึง ที่ว่างบริเวณที่วัตถุนั้นครอบครองอยู่ซึ่งมีรูปร่างและลักษณะเช่นเดียวกับวัตถุนั้น โดยทั่วไปแล้วมิติของวัตถุจะมี 3 มิติ (Dimensions) ได้แก่ ความกว้าง ความสูง หรือความหนาของวัตถุ

2.3.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing data and communication) หมายถึง ความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง และจากแหล่งอื่น ๆ มาจัดใหม่ โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การจัดเรียงลำดับ การจัดแยกประเภท เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลนั้น ๆ ดีขึ้น โดยการนำเสนอในรูปตาราง แผนภูมิ แผนภาพ กราฟ

2.3.7 ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring) หมายถึง ความสามารถในการนำเสนออธิบายข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งได้มาจากการสังเกต การวัด การทดลอง โดยเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิม เพื่อสรุปลงความเห็นเกี่ยวกับข้อมูลนั้น ๆ

2.3.8 ทักษะการพยากรณ์ (Prediction) หมายถึง ความสามารถทำนายหรือคาดคะเนสิ่งที่เกิดขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยการสังเกตปรากฏการณ์ซ้ำ ๆ และนำความรู้ที่เป็นหลักการกฎ หรือทฤษฎีในเรื่องนั้น ๆ มาช่วยในการทำนาย การทำนายทำได้ภายในขอบเขตของข้อมูล (Interpolating) และภายนอกขอบเขตข้อมูล (Extrapolating)

2.4 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (Integrated science process skills) มี 5 ทักษะ ดังนี้

2.4.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating hypothesis) หมายถึง ความสามารถในการให้คำอธิบายซึ่งเป็นคำตอบล่วงหน้า ก่อนที่จะดำเนินการทดลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

2.4.2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining operationally) หมายถึง ความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำ หรือตัวแปรต่าง ๆ ให้เข้าใจตรงกันและสามารถสังเกตและวัดได้

2.4.3 ทักษะกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and controlling variables) หมายถึงความสามารถที่ชี้บ่งได้ว่า ตัวแปรใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม ตัวแปรใดเป็นตัวแปรควบคุม ในการหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวแปรในสมมติฐานหนึ่งหรือในปรากฏการณ์หนึ่ง

2.4.4 ทักษะการทดลอง (Experimenting) หมายถึง ความสามารถในการดำเนินการตรวจสอบสมมติฐานด้วยการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ การใช้วัสดุอุปกรณ์และการบันทึกผลการทดลองอย่างถูกต้อง

2.4.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป (Interpreting data and conclusion) หมายถึง ความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลที่ได้จัดกระทำ และอยู่ในรูปแบบที่ใช้ในการสื่อความหมาย ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปตาราง กราฟ แผนภูมิหรือรูปภาพ รวมทั้งบอกความหมายของข้อมูลในเชิงสถิติ ลงข้อสรุปโดยการนำเอาความหมายของข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สรุปให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาภายในขอบเขตการทดลองนั้น ๆ

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานและขั้นบูรณาการนั้น ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาทักษะขั้นบูรณาการของนักเรียน เนื่องจากทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เป็นทักษะสำคัญที่แสดงถึงการมีกระบวนการคิดอย่างมีเหตุผล ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาตนเองไปสู่กระบวนการคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 รวมทั้งสร้างเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับการวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

การประเมินผลทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

พฤติกรรมที่แสดงว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ มีดังนี้ (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2551)

1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน พฤติกรรมที่แสดงออกเมื่อเกิดทักษะการตั้งสมมติฐาน คือ การหาคำตอบล่วงหน้าก่อนการทดลองโดยสังเกตความรู้และประสบการณ์เดิม

2. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ พฤติกรรมที่แสดงว่าผู้เรียนมีทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ คือ กำหนดความหมาย ขอบเขตของคำและตัวแปรต่าง ๆ ในการสังเกตและวัดได้

3. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร พฤติกรรมที่แสดงออกเมื่อเกิดทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ได้แก่

3.1 ชี้บ่งและกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้

3.2 แยกได้ว่าสถานการณ์ไหนที่ทำให้ตัวแปรมีค่าคงที่และสถานการณ์ไหนที่ไม่ทำให้ตัวแปรมีค่าคงที่

3.3 สร้างวิธีทดสอบหาผลที่เกิดจากตัวแปรอิสระหนึ่งหรือหลาย ๆ ตัวแปร

4. ทักษะการทดลอง พฤติกรรมที่แสดงว่าผู้เรียนมีทักษะการทดลอง คือ

4.1 ออกแบบการทดลองโดยกำหนดวิธีการทดลองได้ถูกต้องโดยคำนึงถึง ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุม และมีการระบุอุปกรณ์ในการทดลองได้

4.2 ปฏิบัติการทดลองและใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม

4.3 บันทึกผลการทดลองได้คล่องแคล่วและถูกต้อง

5. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป พฤติกรรมที่แสดงว่าผู้เรียนมีทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป คือ

5.1 แปลความหมายหรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ได้

5.2 อธิบายความหมายของข้อมูลที่จัดไว้ในรูปแบบต่าง ๆ ได้

5.3 บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพจากแป้ง

สุวีรยา ส่งแก้ว (2551) ได้เตรียมคอมโพสิทย่อยสลายทางชีวภาพระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์ ขึ้นรูปด้วยการเอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ คือ ผลของสภาวะการขึ้นรูป และปริมาณกลีเซอรอลต่อสมบัติของพลาสติกแป้งข้าวเจ้า จากการศึกษา

ผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่อการขึ้นรูปของพลาสติกแป้งข้าวเจ้า พบว่าค่ายังมอดูลัส และการบวมพองของแป้งพลาสติกเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความเร็วรอบสกรู แต่ความต้านทานต่อแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ความเครียดที่จุดขาดที่อุณหภูมิ 110 °C และใช้ความเร็วรอบสกรู 40 rpm มีค่าสูงสุด การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ในปริมาณต่าง ๆ (20-40% โดยน้ำหนักแป้ง) ส่งผลให้แป้งพลาสติกมียังมอดูลัส มอดูลัสสะสมและความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเครียดที่จุดขาดมีค่าสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอล 30% ของน้ำหนักแป้ง ความสามารถของการดูดซับความชื้นและความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอล แต่ปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และผลการทดสอบด้วยเทคนิค DMTA แสดงให้เห็นว่าแป้งพลาสติกมีสัณฐานวิทยาแบบแยกเฟส ผลการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เสริมองค์ประกอบร่วมกับแป้งพลาสติกในปริมาณต่าง ๆ (5-20% ของน้ำหนักแป้ง) และความยาวต่าง ๆ (0.2-6 มิลลิเมตร) ต่อสมบัติของคอมโพสิท แสดงให้เห็นว่า สมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย ยกเว้นความเครียดที่จุดขาด การย่อยสลายทางชีวภาพ และความต้านทานต่อความชื้นดีขึ้นและขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยเช่นกัน การใช้เส้นใย 4 มิลลิเมตรในปริมาณ 20% ของน้ำหนักแป้งจะให้สมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อความชื้นเด่นที่สุด การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำให้ความต้านทานต่อความชื้น สมบัติเชิงกลของคอมโพสิทดีกว่ากรณีที่ไม่ปรับปรุงผิว เนื่องจากมีการติดประสานที่ดีกว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยการแช่เส้นใยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะให้สมบัติเทนไซล์ ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อความชื้น การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเด่นที่สุด

ศิริลักษณ์ ทรงทิพย์ (2553) ได้ศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ร่วมกับการเสริมเส้นใยจากกาบกล้วยและเคลือบด้วยพอลิแลคติคแอซิด รวมทั้งการดัดแปรแป้งกล้วย 4 ชนิด ได้แก่ ฟลาวร์เนื้อผสมเปลือกและ ไม่ผสมเปลือก สตาร์ชเนื้อผสมเปลือกและไม่ผสมเปลือก ด้วยวิธีครอสลิงแบบไดสตาร์ชฟอสเฟต และวิธีพรีเจลาติไนซ์ เพื่อช่วยลดการดูดความชื้นของแป้ง แล้วนำแป้งกล้วยดัดแปรชนิดต่าง ๆ มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 4 นาที และที่ความดัน 5 MPa นาน 3 นาที โดยมีน้ำและกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ สูตรที่ให้ค่าสมบัติทางกลโดยรวมดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วน 3:2:1 ของปริมาณแป้งต่อปริมาณน้ำต่อปริมาณกลีเซอรอล ในขณะที่แป้งครอสลิงมีความสามารถในการละลายน้ำที่ 80 °C น้อยที่สุด แต่ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ จึงต้องผสมกับแป้งธรรมดา (Native) และ แป้งพรีเจล และสามารถขึ้นรูปได้ที่อัตราส่วนแป้งธรรมดา หรือ แป้งพรีเจลต่อแป้งครอสลิงเป็น 3:1 โดยสภาวะขึ้นรูปแบบ 2 ขั้นตอนด้วยการอัด

ขึ้นรูปที่ 120 °C นาน 4 นาที ให้ความดันต่อเนื่อง 5 MPa นาน 3 นาที เมื่อคัดเลือกฟิล์มจากการผสมระหว่างสตาร์ชจากเนื้อผสมกับแป้งดัดแปรด้วยวิธีครอสลิงที่ให้ค่าต้านทานแรงดึงและค่าอิลาสติคมอดูลัสมากที่สุด แล้วนำเส้นใยกล้วยมาเสริมตามแนวแรงในแผ่นฟิล์มจะเพิ่มค่าต้านทานแรงดึง และค่าอิลาสติคมอดูลัสมากขึ้น โดยค่าแรงทั้ง 2 นี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อเคลือบฟิล์มกล้วยด้วยฟิล์ม PLA โดยแผ่นฟิล์มเคลือบด้วย PLA 2 ด้าน ให้ค่าต้านทานแรงดึง 11.58±3.24 MPa ค่าการยืดร้อยละ 3.24±1.29 และ ค่าอิลาสติคมอดูลัส 1048.78±181.36 MPa และฟิล์มกล้วยเคลือบด้วยฟิล์ม PLA สามารถต้านน้ำและต้านน้ำมันได้มากกว่า 60 วัน และความสามารถในการละลายที่ 80 °C จะลดลงมากกว่า 50 % (2.19±0.09%) เมื่อทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะจริงที่ไม่มีการควบคุมเป็นเวลา 60 วัน พบว่าฟิล์มแป้ง PS+PSC สามารถย่อยสลายได้บางส่วนเมื่อแช่ในน้ำ และย่อยสลายได้หมดโดยการฝังดิน แต่จะย่อยสลายได้ช้าลงเมื่อเคลือบด้วย PLA

วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และคณะ (2554) ได้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก จากแป้งและยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟต์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดร์ด ยางธรรมชาติถูกนำมาลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยฟีนิลไฮดราซีนให้ กลายเป็นยางธรรมชาติเหลว แล้วนำมาถูกกราฟต์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดร์ดปริมาณ 3 phr หรือ 9 phr เมื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ยางที่ได้ด้วยเทคนิค FTIR และ ^{1}H-NMR พบว่าเกิดพีคที่แสดงถึงหมู่แอนไฮไดร์ดจริง หลังจากนั้นนำยางที่ผ่านการกราฟต์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดร์ดผสมกับแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลด้วยเครื่องผสมแบบภายใน ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์ แล้วทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติการดึงยืด และสมบัติความเสถียรทางความร้อน พบว่า เมื่อปริมาณการกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดร์ดเพิ่มขึ้น ความแข็งแกร่งต่อการกระแทก (Impact strength) ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่ทำให้สมบัติความเสถียรทางความร้อนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก

Souza et al. (2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของกลีเซอรอลและดินเหนียวอนุภาคระดับนาโนที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile) ของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง จากการทดลองพบว่า ปริมาณกลีเซอรอลมีอิทธิพลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ โดยแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอลในปริมาณน้อยจะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอลในปริมาณมาก

Yunos and Rahman (2011) กล่าวว่า ได้ศึกษาผลของกลีเซอรอลต่อสมบัติทางกายภาพ อุณหภูมิ และการดูดซับน้ำ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังต่อการเสริมแรงเส้นใยฟางข้าว จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลเป็น 40-50% ของส่วนผสม จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ พบว่า พลาสติกชีวภาพสามารถผลิตมาจากวัสดุที่มาจากปิโตรเคมีผสมกับวัตถุดิบชีวมวล เช่น พอลิเอสเทอร์ผสมแป้ง หรือผลิตมาจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งจากกล้วย ยางธรรมชาติ และเซลลูโลสที่มีอยู่ในพืช ในการพัฒนาและการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพให้ดีขึ้นนั้น สามารถใช้วิธีการที่หลากหลาย สามารถเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพให้เทียบเคียงกับพลาสติกทั่วไป และงานวิจัยเกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่ เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม แต่ในงานวิจัย ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การสร้างกิจกรรมการเรียนการสอนที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก และมีปริมาณอะไมโลสต่ำเหมาะสมกับการเตรียมแผ่นฟิล์ม โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างวิธีการผลิตพลาสติกชีวภาพที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่เหมาะสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสอนที่เน้นการพัฒนาทักษะขั้นบูรณาการ

สิริวรรณ ใจกระเสน (2554) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านหนองบัว จังหวัดลำพูน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 15 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ 2) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 3) แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่เรียนโดยใช้เกมวิทยาศาสตร์มีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2) นักเรียนที่เรียนโดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ มีอัตราพัฒนาการด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนทุกทักษะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ย 4.20 คะแนนต่อครั้ง 3) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับมากที่สุด

จรินทร จันทร์เพ็ง (2554) ได้ศึกษาผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 10 จังหวัดเพชรบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่ง

มีนักเรียน 33 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ แบบบันทึกผลการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียน แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมนักเรียนโดยครู แบบบันทึกหลังสอนของครู สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยพบว่า 1) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .01 2) นักเรียนแสดงพฤติกรรมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นหลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

รพีพรรณ พงษ์ปลื้ม และนวลศรี ชำนาญกิจ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนวัดหัวถนน ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) ชุดการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ซึ่งเป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.25-0.63 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.95 ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 85.13/84.58 2) นักเรียนร้อยละ 83 ของนักเรียนทั้งหมด มีผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม 3) ผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการสอนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียน พบว่า รูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนที่ผ่านมามีหลากหลายวิธี เช่น การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ การสอนโดยใช้เกมวิทยาศาสตร์ การสร้างชุดกิจกรรมพัฒนาทักษะ และการพัฒนาชุดการสอน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษามาใช้ในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียน เพื่อเพิ่มความท้าทาย สนุกสนาน และทำให้บรรยากาศในห้องเรียนไม่น่าเบื่อ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา

คะนึงนิจ จันทรมณี (2557) ได้ศึกษาการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM ในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ งานวิจัยนี้เป็นการนิเทศ ติดตามผลการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM โดย

จัดกิจกรรมโดยใช้หุ่นยนต์ (Robot) ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ ครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แบบประเมินการจัดการเรียนการสอนแบบตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้หุ่นยนต์แบบสัมภาษณ์ และแบบสังเกต ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนใจเรียนมากขึ้น การจัดกิจกรรมโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยเสริมและฝึกสมาธิ โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนที่เรียนช้า และกลุ่มนักเรียนที่ไม่ค่อยสนใจเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมดีขึ้น

นงนุช เอกตระกูล (2557) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี เขตบางแค กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 1 ห้องเรียน เนื้อหาที่ใช้ได้แก่ เรื่อง ไฟฟ้า เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน นักเรียนมีทักษะการทำงานเป็นกลุ่ม เรียนรู้ด้วยความสนุกสนานโดยการลงมือปฏิบัติ รู้จักแก้ปัญหาโดยการสืบเสาะหาความรู้

จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่ และศรีสมร พุ่มสะอาด (2558) ได้ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา ผลการวิจัยพบว่าในการจัดการเรียนรู้และการประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษา ผู้สอนควรปฏิบัติดังนี้ คือ 1) ศึกษาสาระสำคัญของสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในลักษณะของการบูรณาการ 2) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน 3) จัดการเรียนรู้ที่เน้นปัญหาเป็นฐาน (Problem-based learning) 4) จัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-based learning) 5) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของผู้เรียน 6) วัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic assessment) ซึ่งแนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาดังกล่าวเป็นการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic learning)

พลศักดิ์ แสงพรมศรี (2558) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนพยัคฆภูมิวิทยาคาร จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 2 ห้องเรียน 100 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 7 แผน 2) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 3) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และ 4) แบบวัดเจตคติต่อการเรียนเคมี สถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือ Hotelling's T^2 ผลการวิจัยปรากฏดังนี้ 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) นักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา มีผมสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมีสูงกว่านักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Burrows, Breiner, Keiner, and Behm (2014) ได้ศึกษากรอบแนวคิดหลักในการบูรณาการระหว่าง 2 รายวิชา คือ ชีววิทยาและเคมี ในหัวข้อเรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยครูจากสองวิชาได้ดำเนินการสร้างบทเรียนไบโอดีเซล โดยบูรณาการตามแนวทางสะเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยา (เน้นไปที่ชีวเคมีสาหร่าย) และวิชาเคมี (เน้นไปที่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification)) และทำการวัดทักษะและเจตคติต่อวิชา STEM (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์) จากการวิจัยพบว่านักเรียนมีทักษะในวิชา STEM และเจตคติที่ดีขึ้น โดยพิจารณาจากการตอบคำถามของนักเรียนในห้องเรียน แบบบันทึกหลังแผนการสอนของครู และผลงานของนักเรียนในกิจกรรมการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

Dillivan and Dillivan (2014) ได้ศึกษาผลจากการเข้าค่ายภาคฤดูร้อนต่อความสนใจในสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้เข้าร่วมกิจกรรมเป็นนักเรียนในโรงเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ แบบสอบถามนักเรียน แบบสอบถามพ่อแม่และผู้ปกครอง จากผลการวิจัยพบว่า การเข้าร่วมค่ายภาคฤดูร้อนมีผลต่อความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ ผลการเรียน การเลือกวิชาเอก วิทยาลัยและการประกอบอาชีพในอนาคตของนักเรียน ผลการสอบถามแสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีทัศนคติในเชิงบวกต่อวิชา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ และยังพบว่าค่ายสะเต็มศึกษา สามารถเพิ่มเจตคติและกระตุ้นความสนใจในสาขาวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น

Sahin, Ayar, and Adiguzel (2014) ได้ศึกษาผลของกิจกรรมสะเต็มศึกษาต่อการจัดหลักสูตรสำหรับเด็กหลังเลิกเรียนและศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับการเรียนรู้ของนักเรียน โดยทำการศึกษากับนักเรียนในเขตตะวันออกเฉียงใต้ ของสหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพ เพื่อทำความเข้าใจมุมมองของนักเรียนและความคิดเห็นเกี่ยวกับกิจกรรมสะเต็มศึกษาและวิถีการเรียนรู้ของนักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรม การเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย การสังเกตอย่างเป็นทางการ การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างและการจดบันทึกข้อมูล จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษา มีศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ การทำงานร่วมกัน และการสืบเสาะหาความรู้ตลอดจนนำไปสู่การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21

Quang et al. (2015) ได้ศึกษาการบูรณาการ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ (STEM) ผ่านการจัดประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยการออกแบบของเล่นเชิงเทคนิคของนักเรียนในโรงเรียน ของเวียดนาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสะเต็มศึกษา 2) ศึกษากิจกรรมสะเต็มศึกษากับความคิดสร้างสรรค์และการเสริมสร้างประสบการณ์ 3) แนะนำการประยุกต์ใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบของเล่นเชิงเทคนิคสำหรับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การบูรณาการการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา และนำไปใช้กับการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยี ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา ในประเทศเวียดนาม ในเดือน เมษายน ปี ค.ศ. 2015 ผลการวิจัยพบว่า การบูรณาการสะเต็มศึกษาผ่านการออกแบบของเล่นเชิงเทคนิคสำหรับนักเรียนในโรงเรียนมัธยมศึกษา ของเวียดนาม ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และเห็นประโยชน์ที่เป็นรูปธรรม และแนวทางการบูรณาการสะเต็มศึกษาผ่านการออกแบบของเล่นเชิงเทคนิคมีความเป็นไปได้และมีความสอดคล้องกันกับการพัฒนาความสามารถของนักเรียน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่า การสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นการสอนแบบบูรณาการระหว่างสาขาวิชาและมีความเชื่อมโยงกับชีวิตจริง เช่น การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล การประดิษฐ์ของเล่น และจากการศึกษาแนวทางการประเมินผลการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่าใช้การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง เช่น การสังเกต การสัมภาษณ์ และสามารถกล่าวได้ว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา มีผลการเรียน ทักษะการแก้ปัญหา และเจตคติต่อการเรียนดีขึ้น ดังนั้นควรสนับสนุนให้ครูผู้สอนได้นำแนวคิดสะเต็มศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ในวิชา

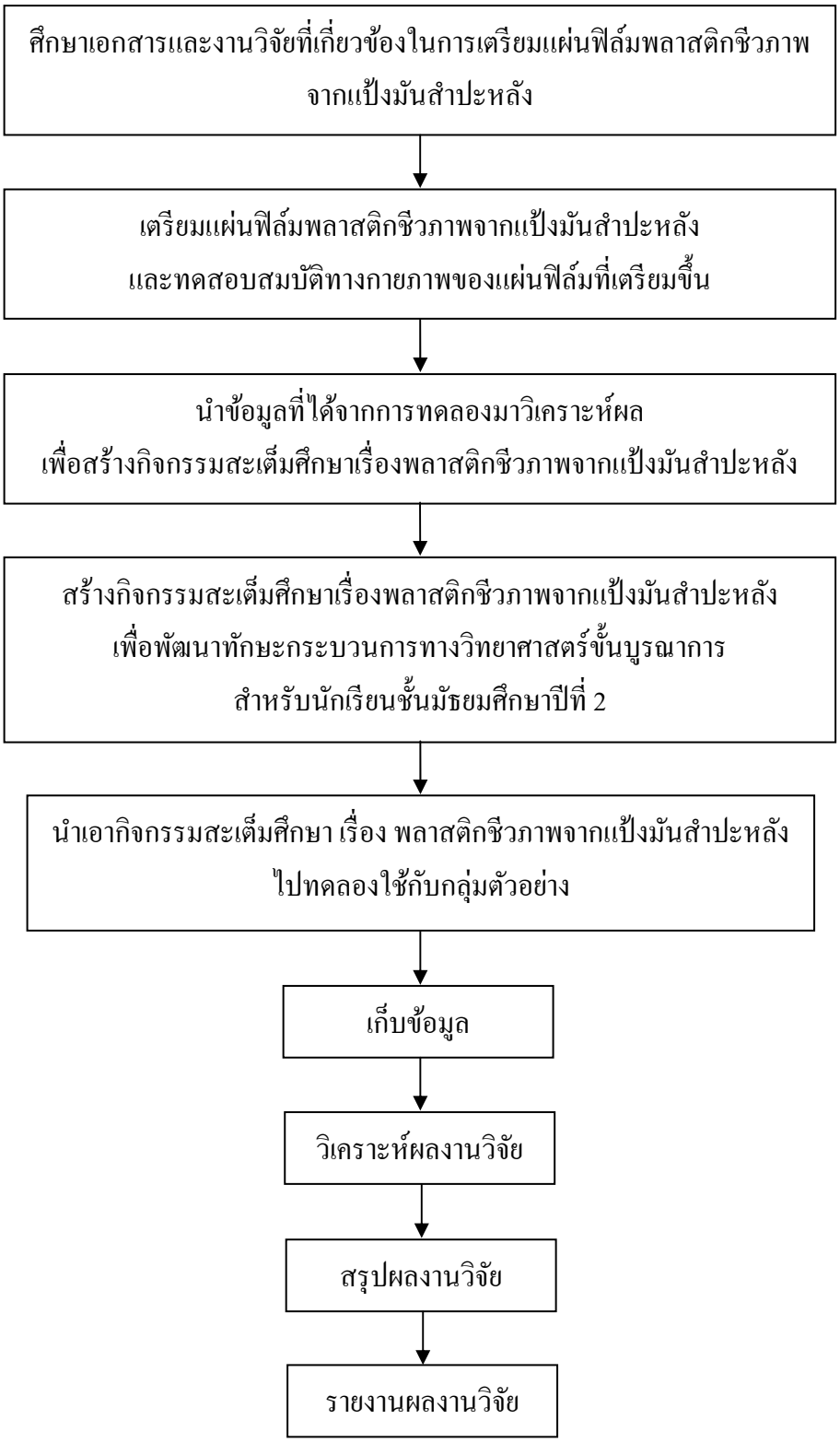
วิทยาศาสตร์เพิ่มเติมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยนำวิธีการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่ง่ายสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยจัดสถานการณ์การเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เนื่องจากการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ (Science) คณิตศาสตร์ (Mathematics) และเทคโนโลยี (Technology) ในอดีตที่ผ่านมายังขาดการบูรณาการ ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้เข้าด้วยกันและไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับเข้ากับชีวิตประจำวันได้ และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยยังไม่พบงานวิจัยใดที่ใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในหัวข้อ พลาสติกชีวภาพมาใช้ในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียน นอกจากนี้แล้วกิจกรรมดังกล่าวยังเป็นกิจกรรมที่จะสร้างความตระหนักในการร่วมกันรักษาสิ่งแวดล้อมให้กับผู้เรียน ผู้วิจัยจึงได้สร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ในการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนตามลำดับต่อไปนี้

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
2. การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
3. การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยขอนำเสนอขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยเลือกวิธีผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่มีในครัวเรือน หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบ
2. เครื่องชั่งสาร
3. บีกเกอร์ ขนาด 50 mL จำนวน 4 ใบ
4. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL จำนวน 4 ใบ
5. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 mL อย่างละ 1 กระบอก
6. แท่งแก้วคนสาร
7. ช้อนตักสาร
8. ถาดเทฟลอน
9. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
10. หลอดหยดสาร
11. กรรไกร
12. เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์
13. ไม้บรรทัด
14. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier digital caliper)
15. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำกลั่น
2. กลีเซอรอล ความหนาแน่น 1.26 g/cm^3
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 M ความหนาแน่น 1 g/cm^3
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 M
5. กระดาษลิตมัส
6. ขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin wax)

7. ซิลิโคน

8. อะคริลิค

9. แป้งมันสำปะหลัง

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จำนวน 3 บีกเกอร์ โดยเขียนหมายเลขติดบีกเกอร์เป็นหมายเลข 1–3

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL ในทุกบีกเกอร์

3. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M ลงในบีกเกอร์แต่ละหมายเลข ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M ที่เติมลงไปในแต่ละบีกเกอร์

บีกเกอร์หมายเลข	ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M (mL)
1	0
2	1
3	2

4. คนสารในแต่ละบีกเกอร์จนสารเข้ากัน

5. เทสารผสมจากบีกเกอร์หมายเลข 1 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 1

6. ทำการทดลองเช่นเดิม โดยเทสารผสมจากบีกเกอร์หมายเลข 2 และ 3 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ

7. นำถาดเทฟลอนหมายเลข 1 ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน คนขณะให้ความร้อนไปด้วยจนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับสารหมายเลข 2 และ 3

9. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารผสมจากบีกเกอร์หมายเลข 2 และ 3 ให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยกระดาษลิตมัส

10. นำถาดเทฟลอนทั้ง 3 ไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 40 °C จนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง

11. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

12. นำแผ่นฟิล์มทั้ง 3 แผ่นไปทดสอบแรงดึงในตอนที่ 4 (ข้อ 1)

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณของกลีเซอรอลที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 mL จำนวน 3 บีกเกอร์โดยเขียนหมายเลขติดบีกเกอร์เป็นหมายเลข 1–3

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL ในทุกบีกเกอร์

3. เติมกลีเซอรอลลงในบีกเกอร์แต่ละหมายเลข ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไปในแต่ละบีกเกอร์

บีกเกอร์หมายเลข	ปริมาตรกลีเซอรอล (mL)
1	0
2	1
3	2

4. คนสารในแต่ละบีกเกอร์จนสารเข้ากัน

5. เทสารผสมในบีกเกอร์หมายเลข 1 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 1

6. ทำการทดลองเช่นเดิม โดยเทสารผสมในบีกเกอร์หมายเลข 2 และ 3 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ

7. นำถาดเทฟลอนหมายเลข 1 ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน คนขณะให้ความร้อนไปด้วย จนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับสารหมายเลข 2 และ 3

9. นำถาดเทฟลอนทั้ง 3 ไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 50 °C จนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง

10. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

11. นำแผ่นฟิล์มทั้ง 3 แผ่นไปทดสอบแรงดึงในตอนที่ 4 (ข้อ 1)

ตอนที่ 3 ศึกษาชนิดของสารเคลือบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 mL

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL และกลีเซอรอลปริมาตร 2 mL ลงในบีกเกอร์

3. คนสารในบีกเกอร์จนสารเข้ากัน เทสารผสมในบีกเกอร์ลงในถาดเทฟลอน

4. นำถาดเทฟลอน ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน คนขณะให้ความร้อนไปด้วย จนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด

5. นำถาดเทฟลอนไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 50 °C จนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดลองในลำดับต่อไป

การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 5x5 cm^2 จำนวน 4 แผ่น และเขียนหมายเลขกำกับไว้ในแผ่นฟิล์มได้แก่ หมายเลข 1-4 โดยแผ่นฟิล์มหมายเลข 1 ไม่มีการเคลือบผิว

2. ทำการเคลือบผิวแผ่นฟิล์มหมายเลข 2 แผ่นด้วยซิลิโคนโดยวิธีเคลือบซิลิโคนให้ค่อย ๆ ใช้ลูกกลิ้งปาดไล่ซิลิโคนให้ติดบนผิวแผ่นฟิล์มอย่างทั่วถึง ไม่บางหรือหนาเกินไป สามารถทาทับได้หากความหนาของชั้นเคลือบบางเกินไป

3. ทำการทดลองเช่นเดิม กับแผ่นฟิล์มหมายเลข 3 และ 4 แต่เปลี่ยนชนิดของสารเคลือบผิวเป็นขี้ผึ้งพาราฟิน และอะคริลิค ตามลำดับ

4. นำแผ่นฟิล์มทั้ง 4 หมายเลข ไปทดสอบแรงดึงในตอนที่ 4 การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม

การทดสอบการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 3x3 cm^2 จำนวน 12 แผ่น และเขียนหมายเลขกำกับไว้ในแผ่นฟิล์มได้แก่ หมายเลข 1-12 โดยแผ่นฟิล์มหมายเลข 1-3 ไม่มีการเคลือบผิว

2. ทำการเคลือบผิวแผ่นฟิล์มหมายเลข 4-6 แผ่นด้วยซิลิโคนโดยวิธีเคลือบซิลิโคนให้ค่อย ๆ ใช้ลูกกลิ้งปาดไล่ซิลิโคนให้ติดบนผิวแผ่นฟิล์มอย่างทั่วถึง ไม่บางหรือหนาเกินไป สามารถทาทับได้หากความหนาของชั้นเคลือบบางเกินไป

3. ทำการทดลองเช่นเดิม กับแผ่นฟิล์มหมายเลข 7-9 และ หมายเลข 10-12 แต่เปลี่ยนชนิดของสารเคลือบผิวเป็นขี้ผึ้งพาราฟิน และอะคริลิค ตามลำดับ

4. นำแผ่นฟิล์มทั้ง 12 แผ่น ไปทดสอบการบวมน้ำในตอนที่ 4 การศึกษาปริมาณการบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม

ตอนที่ 4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม

การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 0.5x5 cm^2 จำนวน 10 แผ่น วัดความหนาของชิ้นงาน 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

2. นำไปทดสอบแรงดึงโดยเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ (ภาพที่ 8)

3. จับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้าน ๆ ละ 1 เซนติเมตร

4. ดึงยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่ 20 mm/นาที

5. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ ค่ามอดูลัสของยัง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ภาพที่ 8 เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์

การศึกษาปริมาณการบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 3x3 cm^2 จำนวน 3 แผ่น

2. นำไปวางในจานเพาะเชื้อเติมน้ำปริมาตร 20 mL ให้ท่วมแผ่นฟิล์ม

3. ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตและวัดความยาวของแผ่นฟิล์มด้วยไม้บรรทัดที่เวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

4. บันทึกผล หาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้ไปหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของแผ่นฟิล์มจากความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ} = \frac{\text{ความยาวสุดท้าย (cm)} - \text{ความยาวเริ่มต้น (cm)}}{\text{ความยาวเริ่มต้น (cm)}} \times 100$$

หมายเหตุ เนื่องจากแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเกิดการบวมน้ำแล้วจะเปื่อยยุ่ยได้ง่าย ดังนั้นวัดการบวมน้ำด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักจึงไม่สะดวกและอาจจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เนื่องจากมีส่วนที่เปื่อยยุ่ยของแผ่นฟิล์มกระจายอยู่ในน้ำ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีวัดการบวมน้ำด้วยการวัดความยาวที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฟิล์มแทนการชั่งน้ำหนัก ซึ่งเป็นวิธีการที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นฟิล์ม

ก่อนที่จะสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ได้นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เช่น ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก ปริมาณกลีเซอรอล และชนิดของสารเคลือบผิว ว่าปัจจัยใดส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มมากน้อยเพียงใด เพื่อจะเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างสถานการณ์ปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาที่มีความเหมาะสม และนำไปสู่การสร้างสรรค์ชิ้นงานที่สามารถใช้งานได้

การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

จากการศึกษาเอกสารและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้นำมาออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดังนี้

1. สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการสอน ซึ่งประกอบด้วย
    1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
    1.2 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู
    1.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
    1.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
    1.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview)
2. หาคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย
    2.1 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ
    2.2 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.3 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

2.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 6 ห้องเรียน จำนวน 309 คน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 2) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 1 ห้องเรียน 52 คน ซึ่งเลือกโดยการเลือกแบบเจาะจง เนื่องจากเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ กลุ่มที่มีความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์สูงและและมีคาบเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 2) ที่สะดวกต่อการใช้กิจกรรมและเก็บข้อมูลของผู้วิจัย

2. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยประยุกต์เทคนิคการรวบรวมข้อมูลแบบผสานวิธี (Mixed-method research) เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการสัมภาษณ์ เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม และแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากงานที่ได้รับมอบหมาย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

3.2 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู

3.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

3.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

3.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

4. การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.1 การหาคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

4.1.1 ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ และศึกษาจุดมุ่งหมายของหลักสูตรในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พุทธศักราช 2551 ในขอบเขตเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 และสาระการเรียนรู้ตลอดจนศึกษาตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง

4.1.2 ดำเนินการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยให้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ และเนื้อหาของกิจกรรม

4.1.3 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ที่สร้างเสร็จแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณา ตรวจสอบส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผน ความสัมพันธ์ระหว่างสาระการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ เวลาเรียน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และเครื่องมือการประเมิน แล้วนำไปแก้ไขปรับปรุง

4.1.4 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน เพื่อประเมินค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่า จุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาของกิจกรรม มีความสอดคล้องกัน

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่า จุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาของกิจกรรม มีความสอดคล้องกัน

-1 หมายถึง แน่ใจว่า จุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาของกิจกรรม ไม่มีความสอดคล้องกัน

4.1.5 ดำเนินการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในประเด็นที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์

4.1.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้วนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 แบบเดี่ยว แบบกลุ่ม โดยนักเรียนทั้งสองกลุ่มไม่ซ้ำกัน ดังนี้

4.1.6.1 ขั้นทดลองเดี่ยว (One-to-one- tryout) จำนวน 3 คน พิจารณาข้อบกพร่อง สอบถามความคิดเห็นของนักเรียน ความถูกต้องของเนื้อหา ภาษา ความชัดเจนของตัวอักษร แล้วปรับปรุงให้เหมาะสม โดยได้ทดลองทีละคนกับกลุ่มตัวอย่าง 3 คน ที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 2) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ซึ่งเป็นนักเรียนที่มีผลการเรียน เก่ง ปานกลาง อ่อน เพื่อสังเกตขณะดำเนินกิจกรรมทดลองว่ามีส่วนใดบกพร่อง แล้วนำข้อบกพร่องนั้นมาปรับปรุงแก้ไข

4.1.6.2 ขั้นทดลองแบบกลุ่ม (Small group tryout) จำนวน 10 คน พิจารณาข้อบกพร่อง สอบถามความคิดเห็นของนักเรียน แล้วปรับปรุงให้เหมาะสม โดยได้ทดลองทีละคนกับกลุ่มตัวอย่าง 10 คน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล เพื่อสังเกตขณะดำเนินกิจกรรมทดลองว่ามีส่วนใดบกพร่อง แล้วนำข้อบกพร่องนั้นมาปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้จริง

4.1.7 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ที่ผ่านการทดลองใช้แล้วมาปรับปรุงแก้ไขและจัดพิมพ์เป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปทดลองใช้จริงกับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 52 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

4.2 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครูกิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ดังนี้

4.2.1 ศึกษาหลักการและวิธีการสร้างแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2.2 กำหนดรายการพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ต้องการสังเกตใน 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการระบุปัญหา ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ด้านการวางแผนและพัฒนา และด้านการทดสอบและประเมินผล พร้อมกำหนดเกณฑ์การปฏิบัติ

4.2.3 สร้างแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในลักษณะแบบตรวจสอบรายการ (Check list) ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้ของทักษะที่ต้องการวัด แล้วนำไป

ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงด้านเนื้อหา โครงสร้างและภาษาที่ใช้ แล้วดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ

4.2.4 นำแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบภาษาที่ใช้ ความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการสังเกต แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญให้สมบูรณ์ก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งถือความคิดเห็นที่สอดคล้องกันของผู้เชี่ยวชาญ แล้วเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

4.2.5 นำแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนชลกันยานุกูล อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

4.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ดังนี้

4.3.1 ศึกษาแนวคิด รูปแบบ ขั้นตอน และหลักการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

4.3.2 กำหนดรายการพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนที่ต้องการประเมินและกำหนดเกณฑ์การปฏิบัติ

4.3.3 สร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้ของทักษะที่ต้องการวัด แล้วนำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงด้านเนื้อหา โครงสร้างและภาษาที่ใช้ แล้วดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ

4.3.4 นำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบภาษาที่ใช้ ความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการสังเกต แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญให้สมบูรณ์ก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งถือความคิดเห็นที่สอดคล้องกันของผู้เชี่ยวชาญ แล้วเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

4.3.5 นำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนชลกันยานุกูล อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

4.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ดังนี้

4.4.1 ศึกษาแนวคิด รูปแบบ ขั้นตอน และหลักการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

4.4.2 กำหนดรายการพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนที่ต้องการประเมินและกำหนดเกณฑ์การปฏิบัติ

4.4.3 สร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้ของทักษะที่ต้องการวัด แล้วนำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงด้านเนื้อหา โครงสร้างและภาษาที่ใช้ แล้วดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ

4.4.4 นำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบภาษาที่ใช้ ความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการสังเกต แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญให้สมบูรณ์ก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งถือความคิดเห็นที่สอดคล้องกันของผู้เชี่ยวชาญ แล้วเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

4.4.5 นำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนชลกันยานุกูล อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

4.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

4.5.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดเป็นกรอบแนวคิดในการสร้างแบบสัมภาษณ์

4.5.2 กำหนดหัวข้อในการสัมภาษณ์ตามข้อมูลที่ต้องการ

4.5.3 แนวคำถามสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง เป็นการสัมภาษณ์กลุ่ม ประกอบด้วย

4.5.3.1 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่

4.5.3.1.1 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร

4.5.3.1.2 ทักษะการตั้งสมมุติฐาน

4.5.3.1.3 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

4.5.3.1.4 ทักษะการทดลอง

4.5.3.1.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามข้อสัมภาษณ์ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้

> “นักเรียนประสบผลสำเร็จในด้านการพัฒนาแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ และได้นำเสนอโครงการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งชนิดอื่น ๆ ให้กับชุมชนและได้รับการตอบรับอย่างดี มีคนในชุมชนหันมาให้ความสนใจ และสั่งซื้อถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจำนวนมาก นอกจากจะสั่งซื้อถุงเพาะชำกล้าไม้แล้ว คนในชุมชนยังต้องการให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แผ่นฟิล์ม ผู้นำชุมชนจึงได้มอบทุนวิจัยให้นักเรียนในการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง เพื่อให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน นักเรียนจะมีวิธีการทดลองเพื่อขึ้นรูปและทดสอบสมบัติของพลาสติกชีวภาพ

4.5.3.2 คำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย

4.5.3.2.1 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนจะตั้งสมมติฐานว่าอย่างไร

4.5.3.2.2 คำใดบ้างที่ต้องมีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ และนักเรียนจะกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการว่าอย่างไร

4.5.3.2.3 ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ “ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน” ให้นักเรียนระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม

4.5.3.2.4 ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ “ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน” ให้นักเรียนออกแบบอธิบายวิธีทดลองและวิธีบันทึกผลการทดลอง

4.5.3.2.5 ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ “ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน” ให้นักเรียนบอกแนวทางในการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

5. วิธีดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 ผู้วิจัยชี้แจงรายละเอียดในหนังสือยินยอมการเข้าร่วมในการวิจัย ให้ผู้เข้าร่วมในการวิจัยทราบ และลงนามแสดงความสมัครใจในการเข้าร่วมวิจัย

5.2 แนะนำขั้นตอนการทำกิจกรรมและบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนการสอน

5.3 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ปรับปรุง และแก้ไขแล้ว จำนวน 6 คาบ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตัวเอง

5.4 ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยดำเนินการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2 ตามแบบประเมินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ปรับปรุง และแก้ไขแล้ว พร้อมกับประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนด้วยแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าสถิติพื้นฐาน เช่น ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต และการสัมภาษณ์มาตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มารวบรวมจัดระบบให้เป็นหมวดหมู่ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสร้างข้อสรุปตามหัวข้อที่กำหนด แล้วนำเสนอผลเชิงบรรยาย

7. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 ค่าเฉลี่ย โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2546)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนน

N แทน จำนวนผู้เรียน

7.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2546)

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนยกกำลังสอง

$\left(\sum X\right)^2$ แทน กำลังสองของคะแนนรวม

n แทน จำนวนผู้เรียน

7.3 การหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence Index: IOC) (บุญชม ศรีสะอาด, 2546)

$$\text{IOC} = \frac{\sum \text{R}}{\text{N}}$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมกับจุดประสงค์

R แทน คะแนนของผู้เชี่ยวชาญ

$\sum$R แทน ผลรวมของคะแนนผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง 2) สร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 3) เปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระหว่างกิจกรรมที่ 1 (คาบเรียนที่ 1-4) และกิจกรรมที่ 2 (คาบเรียนที่ 5-6) โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้แบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 3 ตอน ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอนดังนี้

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5–7

ตารางที่ 5 ผลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง

ตัวอย่างที่*	ปริมาณ HCl (%w/w)	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	0	1.0±0.3	3.3±1.0	9.8±6.0	630.2±2.1
2	25	1.0±0.4	3.2±1.3	13.8±6.1	644.2±20.4
3	50	1.0±0.4	3.1±1.2	19.9±10.4	1040.3±76.5

*การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มจะทำการทดสอบด้วยการดึงตัวอย่าง ๆ ละ 5 แผ่น (n=5)

จากตารางที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M ในปริมาณ

0% 25% และ 50% ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในปริมาณที่มากขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง โดยแผ่นฟิล์มที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในปริมาณ 0% 25% และ 50% ของน้ำหนักแป้ง มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.8, 13.8 และ 19.9 N/mm^2 ตามลำดับ และมีค่ามอดูลัสของยัง เฉลี่ยเท่ากับ 630.2, 644.2 และ 1,040.3 N/mm^2 ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.3%, 3.2% และ 3.1% ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลของกลีเซอรอลที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง

ตัวอย่างที่*	ปริมาณกลีเซอรอล (%w/w)	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	0	1.0±0.3	3.3±1.0	9.8±6.0	630.2±2.1
2	31.5	36.0±6.5	120.0±21.5	0.8±0.2	1.4±1.5
3	63	82.8±4.8	276.1±15.5	0.5±0.1	0.1±0.03

*การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มจะทำการทดสอบด้วยการดึงตัวอย่าง ๆ ละ 5 แผ่น (n=5)

จากตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณของกลีเซอรอลที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม โดยใช้กลีเซอรอลในปริมาณ 0% 31.5% และ 63% ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลง แต่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น โดยแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอลในปริมาณ 0% 31.5% และ 63% ของน้ำหนักแป้ง มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.8, 0.8 และ 0.5 N/mm^2 ตามลำดับ และมีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ยเท่ากับ 630.2, 1.4 และ 0.1 N/mm^2 ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.3%, 120.0% และ 276.1% ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลของสารเคลือบผิวแผ่นฟิล์มที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงและการบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง

ตัวอย่างที่*	ชนิดสารกันน้ำ	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)	% การบวมน้ำ**
1	ไม่เคลือบ	82.8±4.8	276.1±15.5	0.5±0.1	0.1±0.03	87.9±5.4
2	ขี้ผึ้งพาราฟิน	34.9±1.6	116.4±5.2	0.6±0.1	2.7±1.8	86.7±12.0
3	ซิลิโคน	72.8±7.9	242.7±26.5	0.5±0.1	0.2±0.02	0.0±0.0
4	อะคริลิค	79.5±8.6	265.1±28.5	0.2±0.04	0.3±0.1	66.7±3.35

*การทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มจะทำการทดสอบด้วยการดึงตัวอย่าง ๆ ละ 5 แผ่น (n=5)
**การทดสอบการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มจะทำการทดสอบด้วยการแช่แผ่นฟิล์มในน้ำ ตัวอย่างละ 3 แผ่น (n=3)

จากตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบชนิดของสารเคลือบผิวแผ่นฟิล์มที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงและการบวมน้ำของแผ่นฟิล์ม จากการทดลองพบว่า

1. แผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 N/mm^2 ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบขี้ผึ้งพาราฟิน ซิลิโคนและอะคริลิค จะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.6 N/mm^2, 0.5 N/mm^2 และ 0.2 N/mm^2 ตามลำดับ

2. แผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว มีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ยเท่ากับ 0.1 N/mm^2 ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบขี้ผึ้งพาราฟิน ซิลิโคนและอะคริลิค จะมีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 N/mm^2, 0.2 N/mm^2 และ 0.3 N/mm^2 ตามลำดับ

3. แผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 276.1% ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบขี้ผึ้งพาราฟิน ซิลิโคนและอะคริลิค จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 116.4%, 242.7% และ 265.1% ตามลำดับ

4. แผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 87.7% ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบขี้ผึ้งพาราฟิน ซิลิโคนและอะคริลิค จะมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 86.9% 0.0% และ 66.7% ตามลำดับ

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง และเมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลง แต่

เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น และแผ่นฟิล์มที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 1

ในการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก ปริมาณกลีเซอรอล และชนิดของสารเคลือบผิว มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม แต่เนื่องจากกลีเซอรอลมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มมากกว่ากรดไฮโดรคลอริก พิจารณาจากค่ามอดูลัสของยัง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้กลีเซอรอล เป็นปัจจัยหลักในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผลการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยที่ได้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มาเป็นแนวทางในการสร้างเป็นกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดังนี้

1. สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการสอน ซึ่งประกอบด้วย
   1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
   1.2 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู
   1.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
   1.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
   1.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง
2. หาคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินรูปแบบของกิจกรรมโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย
   2.1 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ
   2.2 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ
   2.3 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

2.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ในกิจกรรม ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและสะเต็มศึกษา จำนวน 5 ท่าน (ดังภาคผนวก ช หน้า 187) ตรวจสอบประเมินความสอดคล้องของกิจกรรมโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 8-10

ตารางที่ 8 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม	IOC	ผลการ
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	$\sum R$		ประเมิน
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง

ตารางที่ 9 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม	IOC	ผลการ
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	$\sum R$		ประเมิน
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
12	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
13	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
14	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) และแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในตารางที่ 8 และ 9 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.80-1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรม เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 10 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
9	+1	-1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง
10	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
12	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
13	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
14	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
15	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) ในตารางที่ 10 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60-1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

จากผลดังกล่าวข้างต้นจึงสรุปได้ว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 สามารถนำไปใช้ประกอบการสอนได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

ผลการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

1. ผลการวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการตามขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาของนักเรียนเป็นรายกลุ่มใน 5 ทักษะ ได้แก่ 1) ทักษะการตั้งสมมติฐาน 2) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ 3) ทักษะกำหนดและควบคุมตัวแปร 4) ทักษะการทดลอง 5) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป ปรากฏผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

ด้านการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ				
ทักษะการตั้งสมมติฐาน	1.45	0.52	72.5	ดี
ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.55	0.52	77.5	ดี
ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.64	0.50	82.0	ดี
ทักษะการทดลอง	1.09	0.30	54.5	พอใช้
ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.09	0.30	54.5	พอใช้
เฉลี่ย 5 ทักษะ	1.36	0.43	68.0	
ระดับคุณภาพโดยภาพรวม			พอใช้	
กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ				
ทักษะการตั้งสมมติฐาน	1.82	0.41	91.0	ดีมาก
ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.73	0.47	86.5	ดี
ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.91	0.30	95.5	ดีมาก
ทักษะการทดลอง	1.73	0.47	86.5	ดี
ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.73	0.47	86.5	ดี
เฉลี่ย 5 ทักษะ	1.78	0.42	89.0	
ระดับคุณภาพโดยภาพรวม			ดี	

จากตารางที่ 11 พบว่าในช่วงแรกของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คือ คาบเรียนที่ 1-4 กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ นักเรียนมีคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยภาพรวมในทุกด้านอยู่ในระดับพอใช้ ($\bar{X}$ = 1.36, S.D. = 0.43, 68.0%) แบ่งเป็นระดับดี 3 ด้าน เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ($\bar{X}$ = 1.64, S.D. = 0.50, 82.0%) รองลงมาได้แก่ ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ($\bar{X}$ = 1.55, S.D. = 0.52, 77.5%) และทักษะการตั้งสมมติฐาน ($\bar{X}$ = 1.45, S.D. = 0.52, 72.5%) ตามลำดับ และมีคะแนนประเมินในระดับพอใช้ 2 ด้านได้แก่ ทักษะการทดลองและทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน ($\bar{X}$ = 1.09, S.D. = 0.30, 54.5%)

ช่วงหลังของการจัดการเรียนรู้ คือ คาบเรียนที่ 5-6 ซึ่งประเมินจากการทำกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้ พบว่านักเรียนมีคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ = 1.78, S.D. = 0.42, 89.0%) แบ่งเป็นระดับดีมาก 2 ด้าน ได้แก่ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ($\bar{X}$ = 1.91, S.D. = 0.30, 95.5%) และทักษะการตั้งสมมติฐาน ($\bar{X}$ = 1.82, S.D. = 0.41, 91.0%) ตามลำดับ และมีคะแนนประเมินในระดับดี 3 ด้าน ได้แก่ ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน ($\bar{X}$ = 1.73, S.D. = 0.42, 89.0%)

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2 พบว่า นักเรียนมีคะแนนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยรวมในกิจกรรมที่ 2 ($\bar{X}$ = 1.78, S.D. = 0.42, 89.0%) สูงกว่ากิจกรรมที่ 1 ($\bar{X}$ = 1.36, S.D. = 0.43, 68.0%) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 2

2. ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน

ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน กลุ่มที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2 ใน 5 ทักษะ ได้แก่ 1) ทักษะการตั้งสมมติฐาน 2) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ 3) ทักษะกำหนดและควบคุมตัวแปร 4) ทักษะการทดลอง 5) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป ปรากฏผลดังตารางที่ 12-16

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบทักษะการตั้งสมมติฐานของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
การเขียนสมมติฐานของนักเรียน - สามารถผลิตถุงพลาสติกชีวภาพมาใช้แทนถุงดำได้ - ถ้าใช้กลีเซอรอลมากจะทำให้พลาสติกชีวภาพสามารถม้วนได้ - ใช้แป้งมันสำปะหลังมาทำพลาสติกชีวภาพได้	- ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองมีความยืดหยุ่นดีกว่าถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง
วิธีการแก้ปัญหา/ข้อเสนอแนะของครู - จากการเขียนสมมติฐานการทดลองในใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ พบว่า นักเรียนตั้งสมมติฐานไม่สอดคล้องกับการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้แนะนำเพิ่มเติมเป็นรายกลุ่มเกี่ยวกับประเด็นที่ยังเขียนไม่สอดคล้องกันและได้เขียนข้อเสนอแนะลงในใบกิจกรรมของนักเรียนว่าการเขียนสมมติฐานการทดลองควรสอดคล้องกับตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ที่นักเรียนตั้งไว้	
ผลการพัฒนาทักษะการตั้งสมมติฐาน - จากการเขียนสมมติฐานการทดลองในใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้ พบว่า นักเรียนสามารถตั้งสมมติฐานได้สอดคล้องกับการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะในการตั้งสมมติฐานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการประเมินในกิจกรรมที่ 1	

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
การเขียนนิยามเชิงปฏิบัติการ (คำศัพท์สำคัญ) ของการทดลองของนักเรียน	
- พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หมายถึง พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม	- พลาสติกชีวภาพ หมายถึง พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ - ความเหนียว หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักที่มากระทำต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ทำให้วัสดุขาดได้พอดี วัสดุเส้นใหญ่มีพื้นที่หน้าตัดมากจะทนต่อแรงดึงสูงสุดได้มากกว่าวัสดุเส้นเล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อย
วิธีการแก้ปัญหา/ข้อเสนอแนะของครู - จากการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการในใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ พบว่า นักเรียนให้ความหมายของคำสำคัญในสมมติฐาน เพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาเพียง 1 คำ ผู้วิจัยจึงได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการที่นักเรียนยังเขียนไม่ครอบคลุมคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปร และได้เขียนข้อเสนอแนะลงในใบกิจกรรมของนักเรียนว่า ควรเพิ่มคำใดลงไปในนิยามเชิงปฏิบัติการ	
ผลการพัฒนาทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ - จากการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการในใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้ พบว่า นักเรียนสามารถให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปร เพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้มากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะในการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการประเมินในกิจกรรมที่ 1	

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปรของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
การระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองของนักเรียน	
- ตัวแปรต้น คือ ปริมาณกลีเซอรอล - ตัวแปรตาม คือ พลาสติกชีวภาพสามารถพับเก็บได้โดยไม่แตกหัก - ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำ	- ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแป้ง - ตัวแปรตาม คือ ความเหนียวของถุงเพาะชำกล้าไม้ (% การยืดตัว) - ตัวแปรควบคุม คือ ระยะเวลาในการอบแผ่นฟิล์ม 1. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 2. ปริมาณน้ำ 3. ปริมาณแป้งถั่วเหลือง 4. ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 5. ปริมาณกลีเซอรอล
วิธีการแก้ปัญหา/ข้อเสนอแนะของครู - จากการกำหนดและควบคุมตัวแปรในใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ พบว่า นักเรียนระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมไม่ครบถ้วน ผู้วิจัยจึงได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการการกำหนดและควบคุมตัวแปร ที่ยังเขียนไม่ครอบคลุมและได้เขียนข้อเสนอแนะลงในใบกิจกรรมของนักเรียนว่า จากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ ตัวแปรตามที่นักเรียนต้องกำหนดเพิ่มคืออะไร และนักเรียนต้องควบคุมปัจจัยใดบ้างเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง	
ผลการพัฒนาทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร - จากการกำหนดและควบคุมตัวแปรในใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้ พบว่า นักเรียนสามารถระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะในการกำหนดและควบคุมตัวแปรเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการประเมินในกิจกรรมที่ 1	

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบทักษะการทดลองของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ การออกแบบตารางบันทึกผลและการเขียนผลการทดลองลงในตารางที่ออกแบบของนักเรียน			
บีกเกอร์ (สูตร)	แป้ง (g)	น้ำ (mL)	กลีเซอรอล (mL)
1	12	90	3
2	12	90	6
3	12	0	9
วิธีการแก้ปัญหา/ข้อเสนอแนะของครู - จากการออกแบบตารางบันทึกผลในใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ พบว่า นักเรียนออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องเหมาะสมและไม่มีอธิบายผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้แนะนำเกี่ยวกับการออกแบบตารางบันทึกผลที่ยังเขียนไม่ครอบคลุม วิธีการวางตำแหน่งของตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่ถูกต้อง และได้เขียนข้อเสนอแนะลงในใบกิจกรรมของนักเรียนว่า ควรมีข้อมูลของผลการทดลอง หรือตัวแปรตาม			
กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ การออกแบบตารางบันทึกผลและการเขียนผลการทดลองลงในตารางที่ออกแบบของนักเรียน			
ผลการทดสอบแรงดึง			

การทดสอบสมบัติ	แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง			แผ่นฟิล์มจากแป้งถั่วเหลือง		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N)	0.5	0.3	0.4	0.7	0.5	0.6
ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	30	66	48	65	35	50
ม้วนหรือพับได้	✓	✓	ได้	✓	✓	ได้

ตารางที่ 15 (ต่อ)

การขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้		
รายการ	ชนิดแป้ง	
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งถั่วเหลือง
ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ ความเหมาะสมในการใช้งาน	มีสีขาว มีความเหนียว มีความยืดหยุ่น ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ได้จริง เพราะ - มีขนาดพอเหมาะที่จะใส่กล้าไม้ - เมื่อนำไปใส่ดินแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด	มีสีเหลืองอ่อน มีความเหนียวและมีความแข็งแรง ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งถั่วเหลืองสามารถนำไปใช้ได้จริง เพราะ - มีขนาดพอเหมาะที่จะใส่กล้าไม้ - เมื่อใส่ดินแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด
ผลการพัฒนาทักษะการทดลอง - จากการออกแบบการทดลองและตารางบันทึกผลในใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้ พบว่า นักเรียนสามารถออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้ แม้ว่าจะยังไม่ถูกต้องและสมบูรณ์ แต่จากข้อมูลข้างต้น ก็แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะในการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการประเมินในกิจกรรมที่ 1		

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุปของนักเรียนในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
การตีความหมายและลงข้อสรุปของนักเรียน	
- จากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่า บีกเกอร์ที่ 2 ซึ่งมีแป้ง 12 g น้ำ 90 mL กลีเซอรอล 6 mL เป็นบีกเกอร์ที่เหมาะสมกับการทำถุงเพาะชำ เพราะมีความเหนียวที่เหมาะสม ส่วนบีกเกอร์ที่ 1 ยังมีความเหนียวไม่พอและบางเกินไป จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นถุงเพาะชำต้นไม้ และส่วนบีกเกอร์ที่ 3 มีความเหนียวมากเกินไป พอเวลาดึงแล้วจะไม่สามารถกลับมาเป็นรูปแบบเดิมได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาทำถุงเพาะชำต้นไม้ได้	- จากการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากแป้งถั่วเหลือง มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย คือ 0.6 นิวตัน และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย คือ 50% ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่ได้จากแป้งถั่วเหลือง มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย คือ 0.6 นิวตัน และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย คือ 66% และแผ่นฟิล์มของแป้งถั่วเหลืองและมันสำปะหลังสามารถพับและม้วนได้ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแผ่นพลาสติกชีวภาพที่นำมาทำถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองสามารถพับและม้วนได้ด้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง แต่แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งถั่วเหลืองมีความยืดหยุ่นเทียบเท่ากับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแผ่นพลาสติกชีวภาพที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำถุงเพาะชำกล้าไม้มากกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งถั่วเหลือง
วิธีการแก้ปัญหา/ข้อเสนอแนะของครู - จากการตีความหมายและลงข้อสรุปในใบกิจกรรมที่ 1 พบว่า นักเรียนสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองไม่ครอบคลุมกับผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ยังเขียนไม่ครอบคลุม และได้เขียนข้อเสนอแนะว่า ควรมีข้อมูลของผลการทดลองเพื่อนำมาใช้ในการสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษา	
ผลการพัฒนาทักษะการตั้งสมมติฐาน - จากการตีความหมายและลงข้อสรุปในใบกิจกรรมที่ 2 พบว่า นักเรียนสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ถูกต้องและสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีทักษะในการตีความหมายและลงข้อสรุปเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการประเมินในกิจกรรมที่ 1	

3. ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์นักเรียนแบบกลุ่ม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามข้อสัมภาษณ์ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ผู้วิจัยจึงจัดทำตารางประกอบการอธิบายตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 17 ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 1: การตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์

สมมติฐาน	กลุ่มที่ให้ข้อมูล										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ชนิดของแป้งมีผลต่อความเหนียวของชิ้นงาน	✓		✓	✓	✓				✓	✓	✓
ปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน	✓										✓
ปริมาณน้ำมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน	✓										
สีสันมีผลต่อความน่าสนใจของชิ้นงาน	✓										
อุณหภูมิในการคนแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน	✓										
ชนิดของแป้งมีผลต่อความทนทานของชิ้นงาน	✓					✓			✓		✓
แป้งมันสำปะหลังสามารถขึ้นรูปได้ดีที่สุด		✓	✓								
ชนิดของแป้งมีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน	✓			✓	✓	✓			✓	✓	
ชนิดของแป้งมีผลต่อความยืดหยุ่นของชิ้นงาน					✓	✓			✓	✓	
ชนิดของแป้งมีผลต่อระยะเวลาในการย่อยสลายของของชิ้นงาน					✓						
ปริมาณของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูป							✓	✓			
สมบัติของแป้งต่างชนิดกันมีผลต่อการขึ้นรูป		✓									

จากผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 1 ทักษะการตั้งสมมุติฐาน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถตั้งสมมติฐานได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีบางกลุ่มที่ไม่สามารถตอบคำถามได้

ในทันที นักเรียนต้องใช้เวลาคิด บางครั้งตอบไม่ตรงคำถามหรืออธิบายไม่ชัดเจน ครูต้องใช้คำถามย่อยหรือถามจากบริบทการเรียนการสอน เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจคำถาม

ตารางที่ 18 ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 2: การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

คำที่ต้องกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	กลุ่มที่ให้ข้อมูล										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ชนิดแป้ง	✓	✓	✓	✓	✓						
ความแข็งแรง	✓		✓	✓	✓	✓					✓
ความเหนียว	✓										
พลาสติกชีวภาพ			✓						✓	✓	
การย่อยสลาย					✓						
ความยืดหยุ่น					✓	✓	✓	✓			✓
ความทนทาน						✓					
การขึ้นรูป		✓					✓	✓	✓	✓	✓
ความต้านทานแรงดึง											✓
สมบัติของแป้ง	✓										

ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถกำหนดคำที่จะต้องให้นิยามเชิงปฏิบัติการได้ แต่ในการให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปร เพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษา นักเรียนต้องใช้เวลาคิด ค้นหาข้อมูลอ่านจากเอกสารประกอบการทดลองในกิจกรรมที่ผ่านมาและปรึกษากันในกลุ่มก่อนตอบ ดังข้อคิดเห็นต่อไปนี้

“คำที่จะให้นิยามเชิงปฏิบัติการก็คือ คำว่าพลาสติกชีวภาพ พลาสติกชีวภาพคือสารประกอบอินทรีย์ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ และวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่ได้มาจากพืช” (กลุ่ม 3, 07/03/59)

“คำที่ควรกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการยกตัวอย่าง เช่น การขึ้นรูป หมายถึง ความสามารถในการทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามแบบของแม่พิมพ์ได้” (กลุ่ม 1, 07/03/59)

“ความหมายของ สมบัติในการทดลองนี้ หมายถึง การขึ้นรูป ความแข็งแรง ความเหนียว และความยืดหยุ่น” (กลุ่ม 7 และ กลุ่ม 10, 07/03/59)

“ความหมายของคำว่า ความยืดหยุ่น ก็คือ การที่วัตถุหรือสิ่งของต่าง ๆ ถูกทับหรือดึงด้วยแรงอย่างใดอย่างหนึ่งจนเปลี่ยนรูปไปแต่เมื่อปล่อยแรงนั้นแล้ว วัตถุนั้นจะกลับมาคงสภาพเช่นเดิม” (กลุ่ม 1, กลุ่ม 6, กลุ่ม 9 และ กลุ่ม 11 07/03/59)

“เปอร์เซ็นต์การยืดตัว หมายถึง ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัดและยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อนของวัสดุ” (กลุ่ม 4 และกลุ่ม 7, 07/03/59)

ตารางที่ 19 ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 3: การกำหนดและควบคุมตัวแปร

ตัวแปร	กลุ่มที่ให้ข้อมูล										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ตัวแปรต้น											
ชนิดของแป้ง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ตัวแปรตาม											
ผลการขึ้นรูป	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			
ความเหนียว	✓			✓							
ระยะเวลาการย่อยสลาย			✓		✓						
ความยืดหยุ่น					✓	✓			✓		✓
ตัวแปรควบคุม											
ปริมาณแป้ง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
ปริมาณน้ำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
ความหนาของแป้ง	✓	✓									
อุณหภูมิในการอบ	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ระยะเวลาในการอบ	✓									✓	✓
ปริมาณกลีเซอรอล	✓				✓	✓				✓	✓

ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 3 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุมได้ ดังข้อคิดเห็นต่อไปนี้

“ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแป้ง ตัวแปรตามคือ ผลการขึ้นรูป ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิในการอบ ความหนาของแป้ง ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำ ปริมาณกลีเซอรอล ระยะเวลาในการอบ” (กลุ่ม 1, 07/03/59)

“ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแป้ง ตัวแปรตามคือ ผลการขึ้นรูป ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิในการอบ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำ และปริมาณกลีเซอรอล” (กลุ่ม 5-6, 07/03/59)

“ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแป้ง ตัวแปรตามคือ ผลการขึ้นรูป ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิในการอบ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำ” (กลุ่ม 7-8, 07/03/59)

“ตัวแปรควบคุม มันขึ้นอยู่กับสมมติฐานของเรานะค่ะ ถ้าหากตัวแปรต้นเป็นอะไร ตัวแปรควบคุมก็จะเป็นตัวอื่นที่ไม่ใช่ตัวแปรต้น” (กลุ่ม 1, 07/03/59)

“ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแป้ง ตัวแปรตามคือ ผลการขึ้นรูป ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำ” (กลุ่ม 4, 07/03/59)

ตารางที่ 20 ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 4: การทดลอง

การทดลอง	กลุ่มที่สามารถให้ข้อมูล										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ระบุสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การออกแบบการทดลอง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การออกแบบตารางบันทึกผล	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
การระบุสิ่งที่ต้องบันทึก เช่น ถ่ายรูป ถ่าย VDO จดบันทึก	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
ระบุสิ่งที่ต้องบันทึก เช่น ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ผลการขึ้นรูป ระยะเวลาในการย่อยสลาย ค่าความต้านทานแรงดึง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 4 ทักษะการทดลอง พบว่า นักเรียนทุกกลุ่มสามารถ ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้ในทันที แต่ในขั้นตอนของการวางแผนการทดลองและ

อธิบายวิธีทดลอง นักเรียนใช้เวลาคิดและปรึกษากันในกลุ่มแล้วจึงเสนอแนวตอบ ดังข้อคิดเห็นต่อไปนี้

“การทดลองก็จะทำเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน ขั้นที่ 2 ศึกษาชนิดของแป้งที่มีผลต่อการขึ้นรูป ขั้นที่ 3 เคลือบสารกันน้ำ แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน เช่นใช้การโยนจากชั้น 2 แล้วดูว่ามันหักง่ายมั้ย แป้งชนิดไหนที่มีการแตกมากกว่ากัน ทดสอบความเหนียว โดยการดึงด้วยเครื่องชั่งสปริง” (กลุ่ม 3, 07/03/59)

“การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ขึ้นรูป ขั้นที่ 2 นำไปทดสอบสมบัติของชิ้นงาน” (กลุ่ม 5, 07/03/59)

“การทดลองก็จะทำเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ศึกษาส่วนผสมในการขึ้นรูป ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบ ซึ่งการทดสอบสมบัติจะเป็นการทดสอบความแข็งแรงทนทาน หลังจากขึ้นรูปแล้วต้องนำไปทดสอบโดยการนำไปใช้งาน เช่น นำวัตถุที่มีน้ำหนักมาวางทับถ้าชิ้นงานไม่แตกแสดงว่าชิ้นงานคงทนแข็งแรง ทดสอบความยืดหยุ่น ทดสอบด้วยการดึง ว่ามีความยืดหยุ่นมากน้อยแค่ไหน” (กลุ่ม 6, 07/03/59)

“การทดลองก็จะทำเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ศึกษาการขึ้นรูป ขั้นที่ 2 นำชิ้นงานมาทดสอบความยืดหยุ่น” (กลุ่ม 7-8, 07/03/59)

ผลการสัมภาษณ์ข้อที่ 5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป พบว่า นักเรียนสามารถระบุสิ่งที่ต้องสรุป อธิบายแนวทางการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ดังข้อคิดเห็นต่อไปนี้

“สรุปตามสมมติฐานที่เราตั้งไว้ค่ะ ว่าใช้แป้งอะไร ปริมาณเท่าใดเหมาะสม และผลจากการทดสอบว่าสอดคล้องกับสมมติฐานหรือไม่ เพราะเหตุใด” (กลุ่ม 1, 07/03/59)

“สรุปก็คือ จากการทดลองจะทำให้เราทราบว่า แป้งชนิดไหน ที่จะสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ และมีความยืดหยุ่นที่สุด เพราะเหตุใด” (กลุ่ม 6, 07/03/59)

ในขั้นการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป มีนักเรียนบางกลุ่มอธิบายแนวทางการสรุปไม่ครอบคลุมประเด็นหรืออธิบายไม่ชัดเจน เช่น

“แป้งต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติต่างกันซึ่งส่งผลต่อการขึ้นรูป” (กลุ่ม 2, 07/03/59)

“ชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูป ทำให้ผลการขึ้นรูป ความยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงแตกต่างกัน” (กลุ่ม 8, 07/03/59)

จากการสัมภาษณ์นักเรียนเป็นรายกลุ่มโดยภาพรวม ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถตอบคำถามได้สอดคล้องกับข้อคำถามและสถานการณ์ที่กำหนดให้ ซึ่งผลจากการสัมภาษณ์

สามารถยืนยันได้ว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 2

4. ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ผู้วิจัยได้สังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม ใน 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการระบุปัญหา ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ด้านการวางแผนและพัฒนา และด้านการทดสอบและประเมินผลในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ปรากฏผลดังนี้ (ตารางที่ 35 ภาคผนวก ง)

4.1 ด้านการระบุปัญหา

4.1.1 นักเรียนจำนวน 10 กลุ่ม (ร้อยละ 90.91%) สามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ได้ นักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 9.09%) ไม่มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์

4.1.2 นักเรียนจำนวน 10 กลุ่ม (ร้อยละ 90.91%) มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้ นักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ9.09%)ไม่มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด

ในขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่นักเรียนอ่านข้อมูลจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ แล้ววิเคราะห์สิ่งที่เป็นปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา เพื่อหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ สามารถระบุปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ แต่มีนักเรียนบางกลุ่มที่เขียนตอบโดยรวม ซึ่งไม่ทำการแยกประเด็นในการตอบระหว่าง ปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ และการเขียนตอบยังเขียนไม่ครอบคลุมกับข้อคำถามและสถานการณ์ที่กำหนดให้

4.2 ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

4.2.1 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนว คิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม

4.2.2 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องก่อนการทำกิจกรรม

4.2.3 นักเรียนจำนวน 10 กลุ่ม (ร้อยละ 90.91%) มีการนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ นักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 9.09%) ไม่มีการนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

4.2.4 นักเรียนจำนวน 10 กลุ่ม (ร้อยละ 90.91%) มีการนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 2 สูตรหรือ 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม นักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 9.09%) ไม่สามารถนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

4.2.5 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) สามารถเลือกแนวคิดที่สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม ซึ่งนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม ที่ไม่มีการนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ แต่สามารถเลือกแนวคิดที่สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรมเนื่องจากการร่วมฟังการอภิปรายของนักเรียนกลุ่มอื่น ๆ แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเลือกแนวคิดที่สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า นักเรียนสามารถค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมได้ ซึ่งในขั้นค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องนี้จะดำเนินการหลังจากที่นักเรียนทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาได้แล้ว ในขั้นตอนนี้นักเรียนจะดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาดังกล่าวจากใบความรู้ ใบกิจกรรม อินเตอร์เน็ต หนังสือเรียน ฯลฯ ดังที่ ST 8 (Student 8) กล่าวว่า “ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากอินเตอร์เน็ต แต่ส่วนใหญ่จะศึกษาจากใบความรู้และใบกิจกรรม” และ ST 50 กล่าวว่า “ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากอินเตอร์เน็ต” ซึ่งจะเป็นการการค้นหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ทำจากแป้ง แล้วทำการรวบรวมแนวคิดหรือความรู้ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหา บันทึกข้อมูลของแนวคิดต่าง ๆ ไว้สำหรับเป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดแล้วนำเอาแนวคิดทั้งหมดมาพิจารณาความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดีและจุดอ่อน และความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา

4.3 ด้านการวางแผนและพัฒนา

4.3.1 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมระบุรายละเอียด

4.3.2 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) เขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

4.3.3 นักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม (ร้อยละ 72.73%) มีการดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ และจำนวน 3 กลุ่ม (27.27%) ที่ไม่มีการดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถวางแผนและพัฒนาในการทำกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาได้ ซึ่งในขั้นตอนของการวางแผนและพัฒนาจะดำเนินการหลังจากเลือกแนวคิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาแล้ว โดยนักเรียนจะกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน รวมทั้งร่างแบบ เขียนแสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นงาน และดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ ในขณะที่นักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (27.27%) ที่ไม่มีการดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน เนื่องจากมีเวลาไม่เพียงพอจึงไม่สามารถทำตามแผนที่วางไว้

4.4 ด้านการทดสอบและประเมินผล

4.4.1 นักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม (ร้อยละ 72.73%) มีการทำการทดลองเพื่อทดสอบและประเมินผล

4.4.2 นักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม (ร้อยละ 72.73%) มีการแก้ไขในกรณีที่ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยได้มีการปรับแก้เพื่อให้ชิ้นงานมีรูปร่างและคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังที่ ST 14 กล่าวว่า “ ตอนแรกเราไม่ได้เคลือบสารกันน้ำค่ะ เมื่อทำเป็นถุงเพาะชำแล้วมันต้องรดน้ำ แล้วถุงมันเปื่อยยุ่ยเร็วมาก ก็เลยทำแผ่นฟิล์มอันใหม่แล้วก็เคลือบสารกันน้ำก่อนพับเป็นถุงค่ะ” ST 25 กล่าวว่า “ ในขั้นตอนของการผลิตแผ่นฟิล์มกลุ่มของพวกเราได้ปรับเปลี่ยนสูตรในการผลิตค่ะ เพราะตอนแรกกลุ่มเราเลือกใช้สูตรที่ 2 แล้วผลปรากฏว่าแผ่นฟิล์มตอนที่นำออกมาจากเตาอบใหม่ ๆ จะมีสมบัติที่ดี แต่เมื่อวางทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมงแผ่นฟิล์มจะมีการดูดซึมไอน้ำในอากาศแล้วทำให้แผ่นฟิล์มอ่อนนิ่มพับเป็นถุงได้ยากค่ะ” และ ST 48 กล่าวว่า “ ชิ้นงานที่ผลิตไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ค่ะ มีการปรับแก้จากรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากเป็นทรงกระบอกเพราะทรงกระบอกทำง่ายกว่า” นักเรียนกลุ่มที่ประสบผลสำเร็จในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ มีการทดสอบและประเมินผลหลายครั้งในการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบและประเมิน มาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาถุงเพาะชำกล้าไม้ให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยนักเรียนทั้ง 8 กลุ่มที่ประสบผลสำเร็จในการทำกิจกรรมจะมีการจัดสรรเวลาและการวางแผนที่ดี มีความมุ่งมั่นในการทำงาน แต่มีนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (27.27%) ที่มีการทดสอบและประเมินผล แล้วพบว่าถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง และไม่มีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง สาเหตุอาจจะมาจากนักเรียนมีเวลาว่างไม่ตรงกันทำให้ไม่สามารถจัดสรรเวลาเพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพของถุงเพาะชำกล้าไม้ให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ดังเช่น ST 26 กล่าวว่า “ทำงานไม่ทันค่ะ เพราะเพื่อนในกลุ่มว่างไม่ตรงกัน ต้องไปเรียนพิเศษ” และ ST 30 กล่าวว่า “อยากให้มีเวลาในการผลิตมากกว่านี้ เพราะเวลาในการผลิตน้อยเกินไป”

4.5 ด้านการนำเสนอผลลัพธ์

4.5.1 นักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม (ร้อยละ 72.73%) นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง ส่วนนักเรียนที่ไม่สามารถนำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง มีจำนวน 3 กลุ่ม (27.27%)

4.5.2 นักเรียนจำนวน 11 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้ แต่นักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (27.27%) นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพไม่ครบถ้วนหรือไม่ตรงประเด็น โดยครูพิจารณาจากใบบันทึกกิจกรรม และการนำเสนอข้อมูลด้วยสื่อ PowerPoint

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่ามีนักเรียนส่วนหนึ่งยังไม่สามารถนำเสนอผลลัพธ์ได้ในเวลาที่กำหนด สาเหตุอาจจะมาจากระยะเวลาในการทำกิจกรรมมีน้อยเกินไป ทำให้นักเรียนมีเวลาไม่เพียงพอต่อการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปรับปรุงคุณภาพของถุงเพาะชำกล้าไม้ให้สามารถใช้งานได้จริง ดังเช่น

ST 17 กล่าวว่า “ต้องการระยะเวลาในการทำการทดลองมากกว่านี้ เนื่องจากว่าเพื่อนหลายคนที่มีเวลามาทำการทดลองไม่มากพอ จึงทำให้ไม่สามารถทำงานเสร็จตรงตามที่กำหนดได้”

ST13 กล่าวว่า “ต้องการเวลาในการทดลองและผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้”

ST 16 กล่าวว่า “ต้องการระยะเวลาในการทำกิจกรรมนี้ เนื่องจากจะได้รับความรู้อย่างเต็มที่”

จากการสังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งประกอบด้วย การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนาการทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยเรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง 2) สร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 3) เปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระหว่างกิจกรรมที่ 1 (คาบเรียนที่ 1-4) และกิจกรรมที่ 2 (คาบเรียนที่ 5-6) โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยประยุกต์เทคนิคการรวบรวมข้อมูลแบบผสานวิธี เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการสัมภาษณ์ เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม และแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากงานที่ได้รับมอบหมาย

เครื่องมือที่ใช้ในกิจกรรมการสอน ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ จำนวน 1 แผน ใช้เวลาในการจัดกิจกรรม 6 คาบ ๆ ละ 55 นาที

เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติ ประกอบด้วย 1) แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู 2) แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม 3) แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย และ 4) การสัมภาษณ์เพื่อประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/3 โรงเรียนชลกันยานุกูล จำนวน 52 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาค้นคว้าแต่ละตอนสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง และเมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น และแผ่นฟิล์มที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 1

2. การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ได้กิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษาและส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการผ่านการทำกิจกรรม

3. นำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนมีคะแนนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยรวมในกิจกรรมที่ 2 ($\overline{X}$ = 1.78, S.D. = 0.42, 89.0%) สูงกว่ากิจกรรมที่ 1 ($\overline{X}$ = 1.36, S.D. = 0.43, 68.0%) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 2

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาค้นคว้าแต่ละตอนสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1.1 ผลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในปริมาณที่มากขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปฐมา จาตกานนท์, กุลฤดี แสงสีทอง, รุ่งทิวา วันสุขศรี และกล้าณรงค์ ศรีรอด (2555) ที่ได้ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยกรดในน้ำและเอทานอล ผลปรากฏว่า ค่าความเค้นแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากแป้งย่อยด้วยกรด มีค่าความเค้นแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังสูงกว่าฟิล์มจากแป้งดิบ ในขณะที่ร้อยละการยืดตัวต่ำกว่า

แสดงว่าฟิล์มจากแป้งย่อยด้วยกรดมีความแข็งแรง แต่เปราะและมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าฟิล์มจากแป้งดิบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของขนาดโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของแป้งต่อความแข็งแรงของฟิล์ม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงส่งผลให้เกิดฟิล์มที่มีโครงสร้างแข็งแรงขึ้น เมื่อพิจารณาที่ค่ามอดูลัสของยัง ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมในการรับแรงของฟิล์มในสภาวะที่ไม่มีกลีเซอรอล มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าความเค้นแรงดึงของฟิล์ม ในขณะที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับร้อยละการยืดตัว แสดงให้เห็นว่าขนาดโมเลกุลของแป้งที่เล็กลง ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่มีความยืดหยุ่นน้อยลง ฟิล์มที่ได้จึงแข็งแรงแต่เปราะ และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mopelola, Grace, and Olakunle (2015) ที่ได้ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งจากหัวและรากพืช 3 ชนิด ได้แก่ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และเผือก (Cocoyam) จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า แป้งที่ถูกดัดแปรงด้วย กรดไฮโดรคลอริกสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์มได้ อาจเนื่องมาจากการตัดกิ่งของ อะไมโลเพคตินเป็นอะไมโลส

1.2 ผลของกลีเซอรอลที่มีต่อค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม พลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Souza et al. (2012) พบว่า ปริมาณกลีเซอรอลมีอิทธิพลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ โดยแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอลในปริมาณน้อยจะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอลในปริมาณมาก และงานวิจัยของ Yunos and Rahman (2011) กล่าวว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวีรยา ส่งแก้ว (2551) ที่กล่าวว่า การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ในปริมาณต่าง ๆ (20-40% โดยน้ำหนักแป้ง) ส่งผลให้แป้งพลาสติกมียังมอดูลัส มอดูลัสสะสมและความต้านทานต่อแรงดึงลดลงตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไผ่เพชร (2549) ที่กล่าวว่า ค่าการต้านแรงดึงลดลง เมื่อปริมาณพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งสารประเภทพลาสติไซเซอร์ ทำหน้าที่ลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง ซึ่งโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์จะไปแทรกและสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง เป็นผลทำให้พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งลดน้อยลง ดังนั้นสายโซ่โมเลกุลของแป้งจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นโดยใช้พลังงานลดลง (เจกิตาน์ แก้วพารา, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และอำนาจ สิทธัตตระกูล, 2554)

1.3 ผลของสารเคลือบผิวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง

การเคลือบสารเคลือบผิวบนแผ่นฟิล์มด้วยสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมสมบัติของแผ่นฟิล์มในด้านการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ โดยเลือกใช้สารเคลือบผิว 3 ชนิดที่มีสมบัติในการกันน้ำ ได้แก่ ขี้ผึ้งพาราฟิน ซิลิโคน และอะคริลิค แล้วนำไปทดสอบแรงดึง จากการทดลองพบว่า ฟิล์มที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีค่าการบวมน้ำที่ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ในขณะที่ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก เมื่อพิจารณาค่าการทดสอบแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ จะพบว่า ซิลิโคนมีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวที่ดีที่สุด รองลงมาคือ อะคริลิค และขี้ผึ้งพาราฟิน ตามลำดับ

2. ผลการนำกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ผลจากการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่า มีความเหมาะสมกับศักยภาพของนักเรียนแต่ละกลุ่ม สังเกตจากนักเรียนมีความสุขสนุกสนานกับการร่วมทำกิจกรรม นักเรียนแต่ละกลุ่มมีความกระตือรือร้นในการร่วมแสดงความคิดเห็น เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในระหว่างที่ทำกิจกรรมสมาชิกแต่ละคนในกลุ่มจะระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหา และสามารถสร้างสรรค์ผลงานออกมาได้จนสำเร็จ การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวส่งผลให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมากขึ้น นักเรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหาและข้อจำกัดของสถานการณ์ สามารถหาแนวทางในการแก้ปัญหา รวมทั้งหาแนวทางในการทดสอบและประเมินผล และสามารถนำเสนอผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้นักเรียนยังได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะหลายด้าน เช่น ทักษะการคิด ทักษะการค้นคว้า ทักษะกระบวนการกลุ่ม การทำงานอย่างเป็นระบบ รวมทั้งสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการให้สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

2.1.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ได้จัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ ซึ่งเป็นการบูรณาการแบบสอดแทรก (Infusion integration) เพื่อให้มีลักษณะกลมกลืนกับหัวเรื่อง (Theme) โดยผู้วิจัยได้นำวิชาอื่น ๆ ของสะเต็ม (STEM) มาบูรณาการกับวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์ เปิดเรื่องด้วยสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง รวมทั้งใช้กระบวนการกลุ่มและเป็นกิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งจะเห็นได้ว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจสาระและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากขึ้น สอดคล้องกับ สุรัชน์ อินทสังข์ (2557)

กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบ STEM คือ การการจัดการเรียนรู้เชิงบูรณาการเนื้อหา โดยเน้นเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ และเรียนรู้ผ่านกระบวนการและเครื่องมือทางเทคโนโลยีและวิศวกรรม โดยมีหลักในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ มีดังนี้ 1) ต้องมีวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม 2) เปิดเรื่องด้วยสถานการณ์ปัญหา ซึ่งจะต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และจะต้องเป็นสถานการณ์ปัญหาที่ท้าทาย ชวนคิด และมีความสนุกอยู่ในตัว 3) ผู้เรียนต้องได้ลงมือปฏิบัติ ทั้งคิดและจัดการกับปัญหาร่วมกันในกลุ่ม

2.1.2 กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง ได้สร้างมาจากพื้นฐานการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคำนึงถึงความเหมาะสมในการทดลอง สารเคมี อุปกรณ์ ความเหมาะสมกับวิชาและระดับชั้นที่ใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จำรัส อินทลาภาพร และคณะ (2558) ที่กล่าวว่า ผู้สอนควรจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน เป็นการทดลองนำร่องก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้จริงให้แก่ผู้เรียน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของผลการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งจะช่วยให้ผู้สอนมีความเข้าใจลึกซึ้งในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

2.1.3 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นำไปสู่การประยุกต์ใช้องค์ความรู้เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานออกมา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงพร อิ่มแสงจันทร์ (2554) ที่กล่าวว่า การที่นักเรียนมีส่วนร่วมรับผิดชอบในการเรียนว่าจะต้องเรียนรู้สิ่งใดเพื่ออะไรและโดยวิธีการอย่างไร ทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง เกิดการเรียนรู้ สามารถสะท้อนความรู้และทักษะผ่านการปฏิบัติงานจนเกิดองค์ความรู้ใหม่ได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้การเรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา (STEM) ยังเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักแสวงหาความรู้ ได้ทำกิจกรรมที่สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการและสามารถประยุกต์ความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหาได้ และสอดคล้องกับแนวคิดของกวิน เชื่อมกลาง (2556) ที่กล่าวไว้ว่า กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อเสริมสร้างทักษะและกระบวนการในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหา และให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนในชั้นเรียนกับนวัตกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้ นอกจากนี้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษายังเป็นกิจกรรมที่ช่วยเสริมสร้างเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของพลศักดิ์ แสงพรมศรี (2558) ได้ทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมีสูง

กว่าการเรียนรู้แบบปกติ นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ คะนึงนิจ จันทรมณี (2557) ที่ได้ทำวิจัยโดยการนิเทศ ติดตามผลการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM โดยใช้หุ่นยนต์บูรณาการในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนใจเรียนมากขึ้น การจัดกิจกรรมโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยเสริมและฝึกสมาธิ โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนที่เรียนช้าและกลุ่มนักเรียนที่ไม่ค่อยสนใจเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมดีขึ้น

2.1.4 การจัดการเรียนรู้โดยเปิดเรื่องด้วยสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงและใช้กระบวนการกลุ่มทำให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดที่หลากหลาย เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ ทิศนา แขมมณี (2555) กล่าวว่า ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก เป็นการจัดสภาพการณ์ของการเรียนการสอนที่ใช้ปัญหาเป็นเครื่องมือในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามเป้าหมาย โดยผู้สอนอาจนำผู้เรียนไปเผชิญสถานการณ์ปัญหาจริง หรือผู้สอนอาจจัดสภาพการณ์ให้ผู้เรียนเผชิญปัญหา และฝึกกระบวนการคิดวิเคราะห์ปัญหา แก้ปัญหาร่วมกันเป็นกลุ่มซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในปัญหานั้นอย่างชัดเจน ได้เห็นทางเลือกและวิธีการที่หลากหลายในการแก้ปัญหานั้น รวมทั้งช่วยให้ผู้เรียนเกิดความใฝ่รู้ เกิดทักษะกระบวนการคิด และกระบวนการแก้ปัญหาต่าง ๆ ผู้เรียนสามารถนาความรู้ไปประยุกต์ในชีวิตประจำวันที่หลากหลาย และสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

2. ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ จากการเปรียบเทียบคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในกิจกรรมที่ 1 และ กิจกรรมที่ 2 พบว่า นักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในกิจกรรมที่ 2 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสูงกว่ากิจกรรมที่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ รพีพรรณ พงษ์ปลื้ม และนวลศรี ชำนาญกิจ (2557) ที่กล่าวว่า การที่นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตนเอง และทราบผลการเรียนรู้ของตนเองทันทีหลังเรียนเสร็จในแต่ละครั้ง ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น จึงทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริวรรณ ใจกระเสน (2554) ที่กล่าวว่า กิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง สามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น นอกจากนี้การใช้วิธีการวัดและการประเมินผลตามสภาพจริง ทำให้นักเรียนได้ทราบความสามารถ ปัญหา และข้อบกพร่องของตนเอง เพื่อจะได้ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องนั้นได้ทันท่วงที และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิมา อินทนะ (2551) ที่ได้กล่าวไว้ว่า การประเมินตามสภาพจริง เป็นการสะท้อนความสามารถที่

แท้จริงของผู้เรียน เพราะผลการประเมินได้มาจากแหล่งข้อมูลและวิธีการต่าง ๆ ทั้งการสังเกต การแสดงออก ชิ้นงาน ผลงาน การรายงาน อีกทั้งการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทราบเกณฑ์การประเมินและมีบทบาทในการร่วมกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างเต็มที่ ส่งผลให้นักเรียนมีแนวโน้มในการพัฒนาดีขึ้น

ปัญหาที่พบในการดำเนินการศึกษา

การดำเนินการวิจัย มีปัญหาในเรื่องข้อจำกัดด้านเวลา นักเรียนจะใช้เวลาในแต่ละขั้นตอนมากกว่าปกติ เนื่องจากนักเรียนอาจไม่คุ้นเคยกับการจัดกิจกรรมในรูปแบบนี้ และนักเรียนมีภาระงานในรายวิชาอื่นเป็นจำนวนมาก รวมทั้งยังต้องเข้าร่วมกิจกรรมเสริมที่โรงเรียนจัดให้นอกเหนือจากงานที่ต้องปฏิบัติในระหว่างการทดลองของผู้วิจัย การที่นักเรียนมีภาระงานที่ต้องปฏิบัติจำนวนมาก ส่งผลต่อการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจากการแสดงความคิดเห็นโดยการสัมภาษณ์นักเรียนพบว่า ระยะเวลาในการปฏิบัติการทำกิจกรรมและระยะเวลาในการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองมีน้อยเกินไป เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยี ควรมีการรวมกลุ่มกันและกำหนดหัวเรื่องในการสอนร่วมกัน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการทดลองทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยในส่วนของการทดลองทางวิทยาศาสตร์นี้ เป็นการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งในขั้นตอนการทำงานวิจัยนี้ยังต้องการการพัฒนาปรับปรุงต่อไป ดังนี้

1.1 เพื่อให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ควรมีการศึกษาบางตัวแปรเพิ่มเติม เช่น วิธีการกวนส่วนผสม ขนาดและความหนาของแผ่นฟิล์ม รวมทั้งปรับปรุงขั้นตอนในการเตรียมแผ่นฟิล์มในบางขั้นตอน เช่น หลังจากคนส่วนผสมจนได้สารละลายใส ควรตั้งทิ้งไว้จนฟองอากาศหายไป แล้วจึงเทสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ใส่จานเพาะเชื้อ และเพิ่มจำนวนการทำซ้ำให้มากขึ้น

1.2 ในการเลือกใช้พลาสติไซเซอร์สามารถเลือกใช้พลาสติไซอร์ตัวอื่นมาใช้แทนกลีเซอรอล เช่น ซอร์บิทอล (Sorbitol) ไซลิทอล (Xylitol) แล้วเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

1.3 อาจทำการผสมยางธรรมชาติ เช่น ยางพารา หรืออาจผสมเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยกล้วย เส้นใยปอ เส้นใยสับประรด เพื่อปรับปรุงแผ่นฟิล์มให้มีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการนำไปจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

2.1 ในการจัดการเรียนการสอน ครูควรศึกษาข้อมูลล่วงหน้า เตรียมแหล่งข้อมูล สื่อ/อุปกรณ์ที่ทันสมัยอย่างเพียงพอต่อการใช้เป็นแหล่งศึกษาค้นคว้าของนักเรียน

2.2 ในการจัดการเรียนการสอน ครูควรแนะนำขั้นตอนการทำกิจกรรมและบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนการสอน การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการเรียนการสอนอย่างชัดเจน

2.3 การจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นรูปแบบที่นักเรียนยังไม่คุ้นเคย ดังนั้นจะต้องมีการอภิปรายร่วมกันเพื่อให้นักเรียนรู้แนวทางในการทำกิจกรรม แทนการบอกความรู้หรือการบอกใบ้คำตอบ ซึ่งแต่ละกลุ่มอาจมีแนวทางต่างกัน

2.4 ในการเรียนตามแนวทางสะเต็มศึกษา ต้องมีการปลูกฝังเรื่องความรับผิดชอบการทำงานเป็นทีม เพื่อให้นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้มากขึ้น

3. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

3.1 ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษากับกิจกรรมอื่น ๆ ที่มีอยู่อย่างหลากหลาย เพราะลักษณะของการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษาเมื่อนำมาใช้กับวิชาวิทยาศาสตร์จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาผู้เรียนในการแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานออกมา

3.2 ควรมีการศึกษาเจตคติที่มีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เพิ่มเติมทั้งก่อนและหลังการจัดกิจกรรม

3.3 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการจัดการเรียนการสอนตามแนว STEM ที่มีผลต่อตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการแก้ปัญหา ความคิดอย่างมีวิจารณาญาณ การเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตจริง

3.4 ควรมีการศึกษาการจัดการเรียนการสอนตามแนว STEM ร่วมกับการสอนในรูปแบบอื่น ๆ

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2552). *หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กวิน เชื่อมกลาง. (2556). *กิจกรรมสะเต็มหรรษา: ลูกโป่งน้ำบันจี้จัมป์.* สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 42(185), 26-29.

คะนึงนิจ จันทรมณี. (2557). *การศึกษาการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4–6 โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย ปีการศึกษา 2557.* เข้าถึงได้จาก http://www.prc.ac.th/Academic/TeacherResearchReport/ResearchDetail.php?ID=1373

จรินทร จันทร์เพ็ง. (2554). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. ใน *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชครั้งที่ 2* (หน้า 1-9). ม.ป.ท.

จันทร์จิรา ภมรศิลปธรรม. (2551). *การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ปิโตรเลียมและพอลิเมอร์ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยการสอนแบบสืบเสาะความรู้.* วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการสอนวิทยาศาสตร์, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่ และศรีสมร พุ่มสะอาด. (2558). การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสาหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา. *วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Slipakorn University สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, 8*(1), 61-74.

จิรนาถ บุญคง. (2554). Resistant Starch….แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 6*(1), 1-8.

เจกิตาน์ แก้วพารา, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และอำนาจ สิทธัตตระกูล. (2554). การเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกจากแป้งและยางธรรมชาติดัดแปร. *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 11*(3), 17-22.

ดวงพร อิ่มแสงจันทร์. (2554). *การพัฒนาผลการเรียนรู้ เรื่อง หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงกับการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและความสามารถในการแก้ปัญหาตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.* วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนสังคมศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล. (2558). *เคมีและสมบัติของแป้ง.* เข้าถึงได้จาก http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html

ทิพวรรณ ไกรนรา. (2550). *ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.* วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิศนา แขมมณี. (2555). *ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นงนุช เอกตระกูล. (2557). *ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ STEM Education.* เข้าถึงได้จาก http://swis.act.ac.th/html_edu/act/temp_emp_research/2204.pdf

บุญชม ศรีสะอาด. (2546). *การวิจัยเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปฐมา จาตกานนท์, กุลฤดี แสงสีทอง, รุ่งทิวา วันสุขศรี และกล้าณรงค์ ศรีรอด. (2555). สมบัติของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรงด้วยกรดในน้ำและเอทานอล. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50* (หน้า 379-387). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย. (2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *วารสารนักบริหาร, 33*(2), 49-56.

พรรณี อุดมโภชน์, อภิษฐา จันทรประเสริฐ และวิรัญญา แก้ววัฒนะ. (2554). แนวคิดเรื่องพอลิเมอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49* (หน้า 66-75). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 9*(ฉบับพิเศษ), 401-418.

พิฑูร ตรีวิจิตรเกษม. (2554). *Bioplastic Focus: พลาสติกชีวภาพ...นวัตกรรมเพื่อโลกสีเขียว*. เข้าถึงได้จาก http://www.nia.or.th/bioplastics/download/events/42.pdf

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข. (2558). *การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพโรจน์ ใบตาเฮ. (2555). *การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้งโดยใช้อนุพันธ์ของเอไมด์*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิชย์.

มนตรี จุฬาวัฒนทล. (2556). การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์หรือ “สะเต็มศึกษา”. *สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี, 41*(182), 15-16.

รพีพรรณ พงษ์ปลื้ม และนวลศรี ชำนาญกิจ. (2557). การพัฒนาชุดการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารวิชาการเครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ, 4*(7), 11-24.

รักษพล ธนานุวงศ์. (2556). เรียนรู้สภาวะโลกร้อนด้วย STEM Education แบบบูรณาการ. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 41*(182), 15-16.

รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไผ่เพชร. (2549). อิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมันและความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 2*(1), 36-44.

วรรณทิพา รอดแรงค้า และจิต นวนแก้ว. (2542). *กิจกรรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สำหรับครู*. กรุงเทพฯ: เดอะมาสเตอร์กรุ๊ปแมเนจเมนท์.

วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2532). *กิจกรรมทักษะกระบวนการสำหรับครู*. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

วันชัย เลิศวิจิตรจรัส, อำนาจ สิทธัตตระกูล และเจกิตาน์ แก้วพารา. (2554). ศักยภาพการผลิตเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง. *วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี, 35*(200), 56-64.

วิจารณ์ พานิช. (2555). *วิถีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์.

ศศิมา อินทนะ. (2551). *ผลของการจัดกิจกรรมโครงงานวิทยาศาสตร์ประกอบการประเมินตามสภาพจริงที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4.* ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการวัดผลการศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศิริลักษณ์ ทรงทิพย์. (2553). *พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งกล้วยเคลือบด้วยพอลิแลคติคแอซิด.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2557). พลาสติกชีวภาพ...ความท้าทายที่รอการพิสูจน์จากอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. *กระแสทรรศน์, 17*(3039), 1.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2551). *ตัวอย่างการประเมินผลวิทยาศาสตร์นานาชาติ: PISA และ TIMSS.* กรุงเทพฯ: อรุณการพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *ความรู้เบื้องต้น สะเต็ม* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *คู่มือกิจกรรมสะเต็ม ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4-6.* กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.

สนธิ พลชัยยา. (2557). สะเต็มศึกษากับการคิดขั้นสูง. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 42*(189), 7.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2551). การสอนวิทยาศาสตร์โดยเน้นทักษะกระบวนการ. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, 8*(2), 28-38.

สมโภชน์ อเนกสุข. (2552). *วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กองบริการการศึกษา สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. (2557). แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร. เข้าถึงได้จาก http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2557). *รายงานการวิจัย "แนวทางการพัฒนาการศึกษาไทยกับการเตรียมความพร้อมสู่ศตวรรษที่ 21.* กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค.

สำนักนายกรัฐมนตรี, สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2542). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

สิรพัฒน์ ชนะกุล และมณฑา ไก่หิรัญ. (2554). Bioplastic Focus: พลาสติกชีวภาพ...นวัตกรรมเพื่อโลกสีเขียว. ใน *สรุปผลการสัมมนา "Bioplastic Focus: พลาสติกชีวภาพ...นวัตกรรมเพื่อโลกสีเขียว"*. เข้าถึงได้จาก http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp

สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2558). สะเต็มศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 17*(2), 28-38.

สิริวรรณ ใจกระเสน. (2554). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้เกมวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนหนองบัว จังหวัดลำพูน. ใน *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชครั้งที่ 2* (หน้า 1-9). ม.ป.ท.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. (2557). สะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 42*(186), 3-5.

สุรัชน์ อินทสังข์. (2557). เบื้องหลังการออกแบบกิจกรรม STEM คณิตศาสตร์ ระดับประถมศึกษา. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 42*(187), 19-22.

สุวีรยา ส่งแก้ว. (2551). *การเตรียมและสมบัติของคอมโพสิทย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งข้าวเจ้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2556). สะเต็มศึกษากับการพัฒนาการศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ในประเทศสหรัฐอเมริกา. *วารสารสมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 19*, 15-18.

อัญชลี เหล่ารอด. (2554). *ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้คำถามควบคู่กับการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการวัดผลการศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

American Association for the Advancement of Science. (1970). *Science--a process approach: Commentary for teachers.* Washington, DC: American Association for the Advancement of Science/Xerox.

Billiar, K., Hubelbank, J., Oliva, T., & Camesano, T. (2014). Teaching STEM by design. *Advance in Engineering Education, 4*(1), 1-21.

Burrows, A., Breiner, J., Keiner, J., & Behm, C. (2014). Biodiesel and integrated STEM: Vertical alignment of high School biology/biochemistry and chemistry. *Journal of Chemical Education, 91*(9), 1379–1389.

Dillivan, K. D., & Dillivan, M. N. (2014). Student interest in STEM disciplines: Results from a summer day camp. *Journal of Extension, 52*(1), 1-12.

Hathcock, S. J., Dickerson, D. L., Eckhoff, A., & Katsioloudis, P. (2014). *Scaffolding for creative product possibilities in a design-based STEM activity.* doi:10.1007/s11165-014-9437-7

Hizukuri, S. (1985). Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystallite structure of starch granules. *Carbohydrate Research, 41,* 295-306.

Kasemsuwan, T., Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., & Radosavljevic, M. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry, 76*(5), 629-637.

Mopelola, A. O., Grace, O. A., & Olakunle, O. A. (2015). Preparation of biodegradable plastic films from tuber and root starches. *Journal of Applied Chemistry, 8*(4), 10-20.

Pellegrino, J. W., & Hilton, M. L. (2012). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century.* Washington, DC: National Academy Press.

Quang, L. T., Hoang, L. H., Chaun, V. D., Nam, N. H., Anh, N. T., & Nhung, V. T. (2015). *Integrated Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) education through active experience of designing technical toys in vietnamese schools.* doi:10.9734/BJESBS/2015/19429

Rachtanapun, P., Luangkamin, S., Tanprasert, K., & Suriyatem, R. (2012). Carboxymethyl cellulose film from durian rind. *LWT-Food Science and Technology, 48*, 52-58.

Sahin, A., Ayar, M., & Adiguzel, T. (2014). STEM related after-school program activities and associated outcomes on student learning. *Educational Sciences: Theory & Practice. 14*(1), 309-322.

Souza, A. C., Benze, R., Ferrao, E. S., Ditchfield, C., Coelho, A. C. V., & Tadini, C. C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT-Food Science and Technology, 42*, 110-117.

van Beynum, G. M. A., & Roels, J. A. (Eds.). (1985). *Starch conversion technology.* New York: Marcel Dekker.

Yunos, M. B., & Rahman, W. A. (2011). Effect of glycerol on performance rice straw/starch based polymer. *Journal of Applied Sciences, 11*(13), 2456-2459.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 21 ผลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

แผ่นที่	ปริมาณ HCl (%w/w)	ลักษณะของแผ่นฟิล์ม	การม้วนหรือพับแผ่นฟิล์ม
1	0	ผิวเรียบ โปร่งใส แข็งแต่เปราะ	เกิดรอยแตกหัก
2	25	ผิวเรียบ โปร่งใส แข็งแต่เปราะ	เกิดรอยแตกหัก
3	50	ผิวเรียบ โปร่งใส แข็งแต่เปราะ	เกิดรอยแตกหัก

ตารางที่ 22 ผลของกลีเซอรอลที่มีต่อลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

แผ่นที่	ปริมาณกลีเซอรอล (%w/w)	ลักษณะของแผ่นฟิล์ม	การม้วนหรือพับแผ่นฟิล์ม
1	0	ผิวเรียบ โปร่งใส แข็งแต่เปราะ	เกิดรอยแตกหัก
2	31.5	ผิวเรียบ โปร่งใส เหนียว ยืดตัวได้เล็กน้อย	ไม่เกิดรอยแตกหัก
3	63	ผิวเรียบ โปร่งใส เหนียว ยืดตัวได้มาก	ไม่เกิดรอยแตกหัก

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 0% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	1.253	4.177	16.490	632.537
2	0.684	2.280	11.044	632.537
3	1.113	3.710	14.333	628.641
4	0.637	2.123	3.567	628.641
5	1.284	4.280	3.571	628.641
เฉลี่ย	0.994	3.314	9.801	630.199
S.D.	0.312	1.040	6.010	2.134

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 25% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	0.870	2.900	15.267	680.132
2	1.562	5.207	22.087	639.888
3	0.752	2.507	11.494	630.068
4	1.060	3.533	14.840	635.376
5	0.484	1.613	5.182	635.736
เฉลี่ย	0.946	3.152	13.77	644.168
S.D.	0.403	1.343	6.154	20.403

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มี HCl 50% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	0.869	2.892	21.050	995.581
2	1.327	4.423	30.839	926.217
3	1.261	4.203	28.870	1093.230
4	0.539	1.797	7.124	1093.230
5	0.621	2.070	11.575	1093.230
เฉลี่ย	0.923	3.077	19.892	1040.298
S.D.	0.360	1.200	10.416	76.517

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 0% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	1.253	4.177	16.490	632.537
2	0.684	2.280	11.044	632.537
3	1.113	3.710	14.333	628.641
4	0.637	2.123	3.567	628.641
5	1.284	4.280	3.571	628.641
เฉลี่ย	0.994	3.314	9.801	630.199
S.D.	0.312	1.040	6.010	2.134

ตารางที่ 27 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 31.5% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	44.065	146.883	0.803	0.507
2	36.656	122.187	0.516	0.402
3	38.398	127.993	0.807	1.140
4	34.592	115.307	1.108	3.963
5	26.344	87.813	0.569	1.046
เฉลี่ย	36.011	120.037	0.761	1.412
S.D.	6.451	21.502	0.235	1.462

ตารางที่ 28 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่มีกลีเซอรอล 63% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	90.450	301.500	0.615	0.164
2	82.808	276.027	0.392	0.140
3	82.757	275.857	0.464	0.128
4	79.035	263.450	0.322	0.085
5	79.133	263.777	0.477	0.136
เฉลี่ย	82.837	276.122	0.454	0.131
S.D.	4.796	15.469	0.109	0.029

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	90.450	301.500	0.615	0.164
2	82.808	276.027	0.392	0.140
3	82.757	275.857	0.464	0.128
4	79.035	263.450	0.322	0.085
5	79.133	263.777	0.477	0.136
เฉลี่ย	82.837	276.122	0.454	0.131
S.D.	4.796	15.469	0.109	0.029

ตารางที่ 30 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยขี้ผึ้งพาราฟิน

ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	37.676	125.587	0.679	2.807
2	33.889	112.963	0.633	0.1357
3	34.778	115.927	0.506	1.902
4	34.367	114.557	0.659	4.889
5	33.878	112.927	0.574	3.799
เฉลี่ย	34.918	116.392	0.610	2.707
S.D.	1.587	5.289	0.070	1.818

ตารางที่ 31 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยซิลิโคน

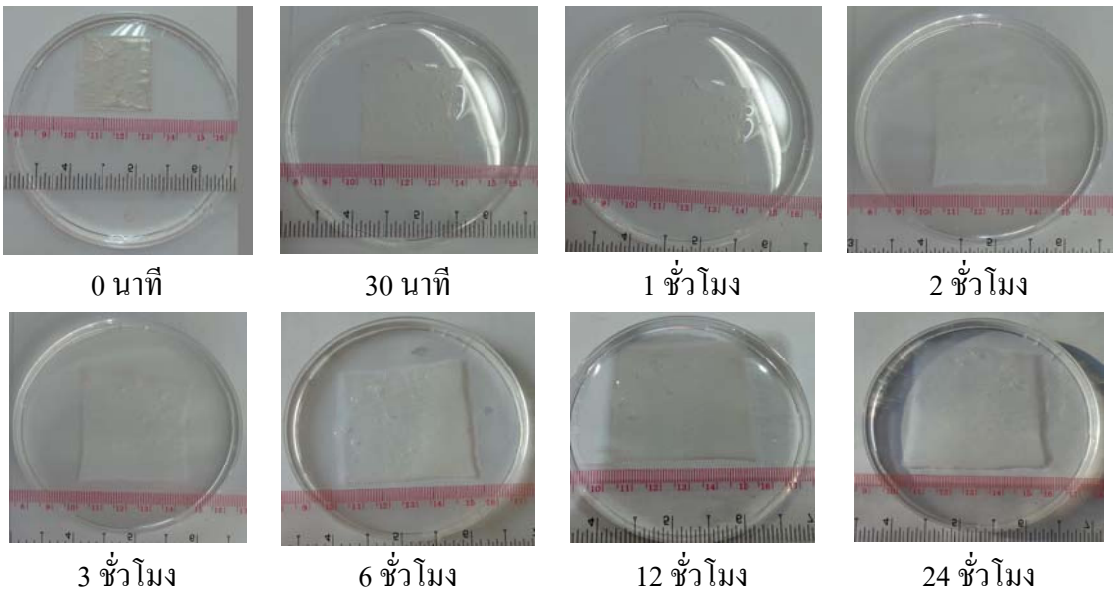
ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	69.067	230.223	0.438	0.204
2	86.936	289.787	0.640	0.196
3	69.899	232.997	0.468	0.228
4	67.921	226.403	0.470	0.234
5	70.201	234.003	0.591	0.244
เฉลี่ย	72.805	242.683	0.521	0.221
S.D.	7.949	26.496	0.089	0.020

ตารางที่ 32 ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอะคริลิค

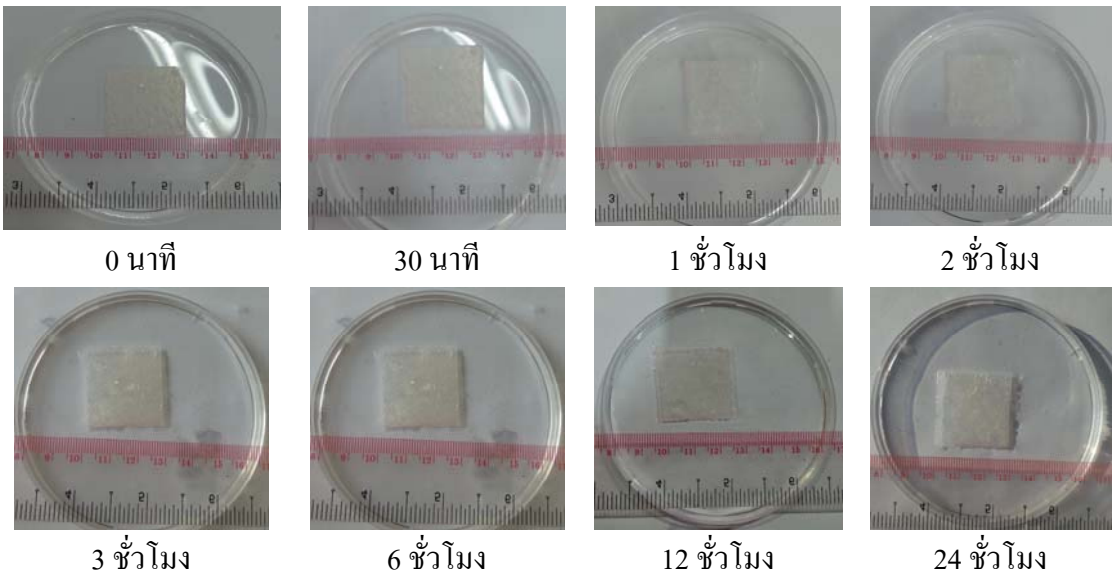
ชิ้นทดสอบที่	ระยะการยืดตัว (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)	ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)
1	68.667	228.890	0.149	0.169
2	81.802	272.673	0.196	0.147
3	87.325	291.083	0.233	0.392
4	87.276	290.920	0.236	0.296
5	72.563	241.877	0.141	0.285
เฉลี่ย	79.527	265.089	0.191	0.258
S.D.	8.551	28.503	0.045	0.100

ตารางที่ 33 ผลการทดสอบการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารกันน้ำทดสอบโดยการวัดความยาวของแผ่นฟิล์ม

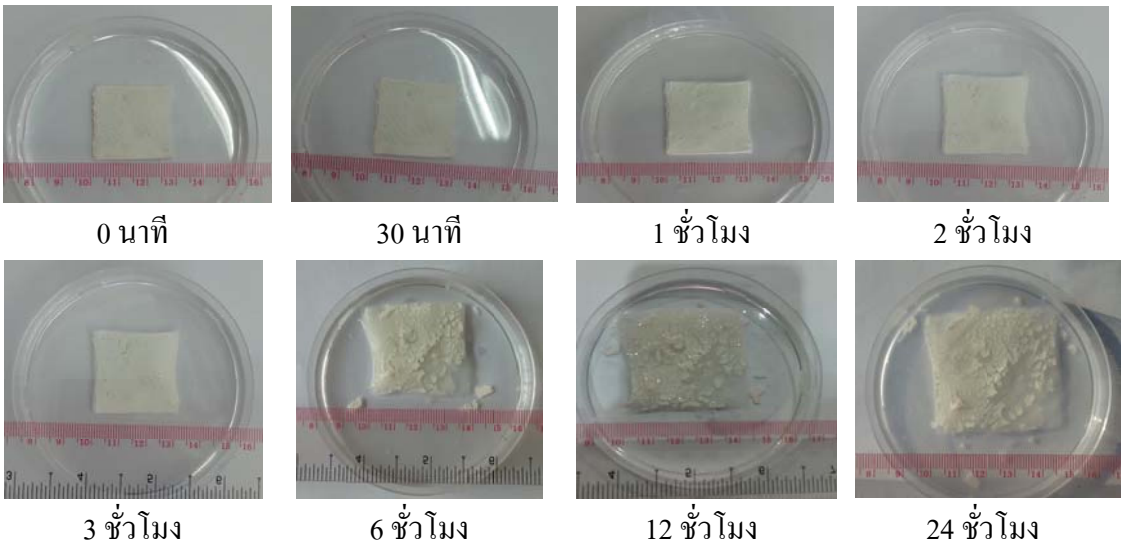
ชิ้นที่	ชนิดสารเคลือบผิว	ความยาวของแผ่นฟิล์ม(mm)		ความยาวที่เพิ่มขึ้น	การบวมน้ำ
		ก่อน	หลัง	(mm.)	(%)
1	ไม่เคลือบ	30.0	58.0	28.0	93.9
2		30.0	56.0	26.0	86.7
3		30.0	55.0	25.0	83.3
เฉลี่ย		30.0	56.33	26.3	87.97
4	ซิลิโคน	30.0	30.0	0.0	0.0
5		30.0	30.0	0.0	0.0
6		30.0	30.0	0.0	0.0
เฉลี่ย		30.0	30.0	0.0	0.0
7	อะคริลิค	30.0	50.0	20.0	66.7
8		30.0	49.0	19.0	63.3
9		30.0	51.0	21.0	70.0
เฉลี่ย		30.0	50.0	20.0	66.7
10	ขี้ผึ้งพาราฟิน	30.0	58.0	28.0	93.3
11		30.0	51.0	21.0	70.0
12		30.0	56.0	26.0	86.7
เฉลี่ย		30.0	55.0	25.0	83.3



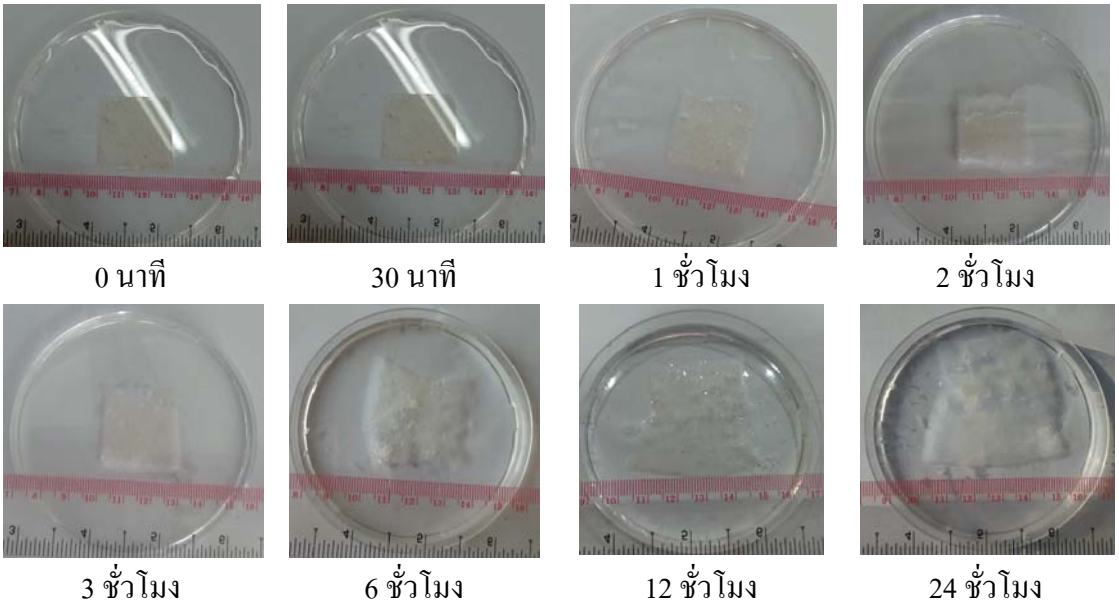
ภาพที่ 9 การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 10 การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยซิลิโคนเมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 11 การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยอะคริลิค เมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 12 การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยขี้ผึ้งพาราฟิน เมื่อแผ่นฟิล์มแช่น้ำในช่วงเวลา 0 30 นาที และ 1 2 3 6 12 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้
2. แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
3. แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม
4. แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย
5. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

แผนการจัดการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 โครงงานวิทยาศาสตร์ประเภททดลอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ เวลา 6 คาบ

รหัส ว32202 รายวิชา วิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ผู้สอน นางนิตยา ภูผาบาง

สาระสำคัญ

พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง มนุษย์นำพลาสติกมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย อย่างไรก็ตามการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายพลาสติกใช้เวลานานมาก การใช้พลาสติกที่มีส่วนผสมจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า พลาสติกชีวภาพ เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะเนื่องจากย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพ เช่น เซลลูโลส คอลลาเจน แป้ง

แป้งมันสำปะหลังมีพอลิเมอร์ธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญ 2 ชนิด คือ อะไมโลส และ อะไมโลเพคติน โดยพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันคือ กลูโคส แต่ต่างกันที่โครงสร้างของพอลิเมอร์โดย อะไมโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่อะไมโลเพคตินมีโครงสร้างแบบกิ่ง เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีพอลิเมอร์ธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพได้

กิจกรรม “ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ” เป็นกิจกรรมบูรณาการที่ให้นักเรียนประยุกต์องค์ความรู้เกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพร่วมกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความรู้ทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อการออกแบบและสร้างสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ตัวชี้วัด

วิทยาศาสตร์	คณิตศาสตร์	ออกแบบและเทคโนโลยี
- อธิบายการเกิดพอลิเมอร์ - อภิปรายการนำพอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	- เลือกใช้หน่วยการวัดได้อย่างเหมาะสม - ใช้การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัดในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม	- สร้างสิ่งของเครื่องใช้หรือวิธีการ ตามกระบวนการเทคโนโลยี อย่างปลอดภัย

วิทยาศาสตร์	คณิตศาสตร์	ออกแบบและเทคโนโลยี
- ทดลองและอธิบายสมบัติของวัสดุเกี่ยวกับความยืดหยุ่น และความเหนียว - กำหนดตัวแปรที่สำคัญในการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าเรื่องที่สนใจได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้ - สร้างสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบได้และวางแผนการสำรวจตรวจสอบหลาย ๆ วิธี - รวบรวมข้อมูลจัดกระทำข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ - วิเคราะห์และประเมินความสอดคล้องของประจักษ์พยานกับข้อสรุป ทั้งที่สนับสนุนหรือขัดแย้งกับสมมติฐานและความผิดปกติของข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบ	- หาปริมาตรของปริซึม ทรงกระบอก พีระมิด กรวย และทรงกลม - ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม - เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์ และนำความรู้ หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ	- ออกแบบโดยถ่ายทอดความคิด เป็นภาพร่าง 3 มิติหรือภาพฉาย เพื่อนำไปสู่ การสร้างต้นแบบของสิ่งของเครื่องใช้ หรือถ่ายทอดความคิดของวิธีการเป็นแบบจำลองความคิดและ การรายงานผล เพื่อนำเสนอวิธีการ - ความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง - เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการเทคโนโลยีด้วยการลดใช้ทรัพยากรหรือเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ 1. วิทยาศาสตร์ (S) วิทยาศาสตร์ในที่นี้ได้รวมสาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมด้วย และเนื่องจากเป็นการสอนวิชาโครงงาน จึงปรากฏตัวชี้วัดบางตัวชี้วัดที่ไม่ได้ปรากฏในช่วงชั้นที่ 2

2. วิศวกรรม (E) ไม่ได้ปรากฏในหลักสูตร 2551 แต่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ซึ่งอ้างอิงจากเอกสาร

การประชุม International Technology Education Association. (2005). Invention: the invention crusade (Page 5). ได้เสนอไว้ 5 ขั้นตอน คือ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล การนำเสนอผลลัพธ์

สาระการเรียนรู้แกนกลาง

วิทยาศาสตร์

1. พอลิเมอร์เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดจากมอนอเมอร์จำนวนมากเชื่อมต่อกัน มีทั้งที่เกิดในธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น

2. พอลิเมอร์นำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันตามสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ เช่น ใช้พลาสติกทำภาชนะ

3. ความยืดหยุ่น ความเหนียว เป็นสมบัติของวัสดุ ซึ่งวัสดุต่างชนิดกันจะมีสมบัติบางประการแตกต่างกัน

คณิตศาสตร์

1. การวัดความยาว การเลือกใช้หน่วยการวัดเกี่ยวกับความยาว และการนำไปใช้

2. การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัด

3. ปริมาตรของทรงกระบอก

ออกแบบและเทคโนโลยี

1. การสร้างสิ่งของเครื่องใช้หรือวิธีการตามกระบวนการเทคโนโลยี จะทำให้ผู้เรียนทำงานอย่างเป็นระบบ สามารถย้อนกลับมาแก้ไขได้ง่าย

2. ภาพฉาย เป็นภาพแสดงรายละเอียดของชิ้นงาน ประกอบด้วยภาพด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน แสดงขนาดและหน่วยวัด เพื่อนำไปสร้างชิ้นงาน

3. ความคิดสร้างสรรค์มี 4 ลักษณะ ประกอบด้วย ความคิดริเริ่ม ความคล่องในการคิด ความยืดหยุ่นในการคิด และความคิดละเอียดลออ

4. การลดการใช้ทรัพยากรหรือเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีสะอาด

จุดประสงค์

นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายและความสำคัญของพลาสติกชีวภาพได้

2. เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังโดยอาศัยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้

3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมจากสูตรต่าง ๆ เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้

4. สร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยอาศัยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้

แนวการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

คาบที่ 1 การระบุปัญหา (Identify a challenge)

1. ครูนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือภาพที่เกิดจากขยะพลาสติกมาแสดง จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับประโยชน์และผลกระทบจากการใช้พลาสติก เพื่อโยงเข้าสู่ประเด็นเรื่องปัญหาขยะจากพลาสติกและให้นักเรียนเสนอแนวทางการลดปัญหาขยะจากพลาสติก (นักเรียนอาจยังไปไม่ถึงแนวคิดเรื่องพลาสติกชีวภาพ)

2. ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 5 คน พร้อมแจกใบกิจกรรม ใบบันทึกกิจกรรมและใบความรู้สำหรับทำกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ จากนั้นชี้แจงแนวทางการทำกิจกรรมรวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนน

3. นักเรียนอ่านสถานการณ์ในใบกิจกรรม จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายตามประเด็นคำถามดังนี้

3.1 ปัญหาในสถานการณ์นี้คืออะไร และนักเรียนต้องทำสิ่งใดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

3.2 เงื่อนไขและข้อจำกัดของการทำกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์มีอะไรบ้าง

3.3 การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้นักเรียนต้องมีองค์ความรู้ ทักษะ หรือกระบวนการใดบ้าง

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรม ข้อที่ 1 จากนั้นทบทวนความรู้นักเรียนเกี่ยวกับทักษะทางวิทยาศาสตร์โดยเน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและให้ความรู้เพิ่มเติมเรื่องกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์

คาบที่ 2-4 การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)

5. นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อทบทวนเกี่ยวกับการทำภารกิจตามสถานการณ์ที่กำหนดพร้อมกับองค์ความรู้ ทักษะและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาความรู้จาก internet มาก่อนเข้าเรียนหรือระหว่างเรียน

6. นักเรียน ศึกษาใบความรู้ที่ 1 เรื่อง พลาสติกชีวภาพ และศึกษาวิธีทำการทดลองที่ 1 การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นร่วมกันอภิปรายก่อนทำการทดลองดังนี้

6.1 ความหมายของพอลิเมอร์

6.2 ความหมายและความสำคัญพลาสติกชีวภาพ

6.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

6.4 ปัจจัยหรือตัวแปรที่ต้องการศึกษา

6.5 ที่มาของตัวแปรควบคุมต่าง ๆ เช่น ปริมาตรของน้ำ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้อบ

6.6 เทคนิคหรือเคล็ดลับสำคัญในการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้ง เช่น การทำให้แผ่นฟิล์มมีความหนาสม่ำเสมอ

6.7 ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

7. นักเรียนทำการทดลองที่ 1 เรื่อง การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้ ซึ่งครูเน้นกับนักเรียนเพื่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ว่า กลุ่มใดสามารถคิดวิธีการทดลองใหม่ ๆ จะได้คะแนนพิเศษ และมีรางวัลพิเศษ

8. นักเรียนศึกษาใบความรู้ที่ 2 เรื่อง สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ชีวภาพ และศึกษาวิธีทำการทดลองที่ 2 การทดสอบสมบัติบางประการของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ จากนั้นร่วมกันอภิปรายก่อนทำการทดลองดังนี้

8.1 สมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้

8.2 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

8.3 ถ้านักเรียนต้องออกแบบการทดสอบแรงดึง นักเรียนจะมีวิธีอย่างไร

8.4 วิธีการทดลองที่นำมาซึ่งความเที่ยงและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

8.5 ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

9. นักเรียนทำการทดลองที่ 2 เรื่อง การทดสอบสมบัติบางประการของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ และครูเน้นกับนักเรียนว่า กลุ่มใดสามารถคิดวิธีการทดลองใหม่ ๆ จะได้คะแนนพิเศษ และมีรางวัลพิเศษ

10. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายแนวการตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 2–6 พร้อมกับอภิปรายเกี่ยวกับสัดส่วนของกลีเซอรอลที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ (แต่ละกลุ่มอาจได้คำตอบที่แตกต่างกันขึ้นกับผลการทดลอง)

คาบที่ 5 การวางแผนและการพัฒนา (Plan and develop)

11. ครูให้นักเรียนออกแบบกระบวนการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ โดยครูใช้คำถามว่า

11.1 นอกจากปัจจัยเรื่องปริมาณกลีเซอรอลแล้ว นักเรียนคิดว่าปัจจัยใดมีผลต่อการผลิตถุงพลาสติกจากมันสำปะหลังอีก

11.2 วิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ในแป้งแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปฟิล์ม ว่าถ้ามีสารใดเยอะจะขึ้นรูปฟิล์มได้หรือทำเป็นพลาสติกได้ดีกว่ากัน

11.3 วิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณและสัดส่วนของสารเคมีที่ต้องใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยต้องให้มีความหนาเพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ที่มีปริมาตรอย่างน้อย 300 mL

11.4 อภิปรายเกี่ยวกับจำนวนถุงเพาะชำกล้าไม้ที่จะผลิต (ถ้าวิธีการผลิตมีความเที่ยงต้องสามารถผลิตได้หลายชิ้น และแต่ละชิ้นต้องมีลักษณะและสมบัติใกล้เคียงกัน)

11.5 อภิปรายองค์ความรู้ ทักษะหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

11.6 วิธีการเขียนแบบร่างตามแนวทางการทำงานของวิศวกร

11.7 อภิปรายเกี่ยวกับแนวทางการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ (อภิปรายเพื่อให้นักเรียนรู้แนวทาง ไม่ใช่การบอกใบ้คำตอบ ซึ่งแต่ละกลุ่มอาจมีแนวทางต่างกัน)

12. นักเรียนตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 7–9 โดยเฉพาะครูควรช่วยเหลือให้คำปรึกษา เนื่องจากมีผลต่อความสำเร็จของนักเรียนในการต่อยอดองค์ความรู้ในห้องเรียนไปสู่การสร้างชิ้นงานตามวิธีการของตนเอง

การทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation) – ขั้นนี้ทำนอกเวลาโดยให้เวลา 1 สัปดาห์

13. นักเรียนทำการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ (ครูเป็นที่ปรึกษา) โดยอาจมีกระบวนการดังนี้

13.1 เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากมันสำปะหลัง

13.2 ทดสอบสมบัติของฟิล์ม (ตามแนวทางเดียวกับการทดลองที่ 2)

13.3 นำฟิล์มที่ได้มาผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

13.4 วิเคราะห์ลักษณะและสมบัติของถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ผลิต เช่น ปริมาตร การฉีกขาด การม้วนพับ (นักเรียนต้องบันทึกข้อมูลในทุกขั้นตอนของการทำงาน)

13.5 การผลิตซ้ำ (ถ้าไม่สำเร็จหรือมีเวลาเพียงพอ)

14. นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม

คาบที่ 6 นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)

15. นักเรียนนำถุงเพาะชำกล้าไม้มาแสดงพร้อมนำเสนอข้อมูลด้วยสื่อ Power Point ในประเด็นต่อไปนี้

15.1 แนวคิด ทักษะ กระบวนการที่ใช้ในการออกแบบ

15.2 วิธีการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ ประกอบด้วย การเตรียมฟิล์ม การขึ้นรูป การทดสอบสมบัติ

15.3 ปัญหาและอุปสรรค

15.4 ความสำเร็จของชิ้นงาน

15.5 ความสอดคล้องของชิ้นงานกับแบบร่าง

16. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับ

16.1 แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน

16.2 การต่อยอดองค์ความรู้เพื่อนำไปผลิตเป็นชิ้นงานอื่น ๆ เช่น เคสโทรศัพท์มือถือ แผ่นมาร์คหน้า กระดาษห่อข้าวมันไก่ ฯลฯ

16.3 ผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

ชิ้นงานและภาระงาน

1. ใบบันทึกกิจกรรม (20 คะแนน)
2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (10 คะแนน)

การวัดและประเมินผล

ประเด็นในการวัดและประเมินผล	วิธีการวัดและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์การผ่าน
ความรู้ (K)			
1. อธิบายความหมายและความสำคัญของพลาสติกชีวภาพได้ 2. เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังโดยอาศัยความรู้และทักษะกระ บวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้ 3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมจากสูตรต่าง ๆ เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ได้ 4. สร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยอาศัยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้	1. ตรวจใบกิจกรรม 2. ตรวจใบงาน 3. ชิ้นงานและการนำเสนอ	1. ใบกิจกรรม 2. ใบงาน 3. แบบประเมินชิ้นงานและการนำเสนอ	ระดับคุณภาพ 3 ขึ้นไป

ประเด็นในการวัดและประเมินผล	วิธีการวัดและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์การผ่าน
ทักษะ/ กระบวนการ (P)			
1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 2. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	1. ประเมินทักษะกระบวน การทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม 2. ประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย 3. สังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	1. แบบประเมินทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม 2. แบบประเมินทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย 3. แบบสังเกตกระบวน การออกแบบเชิงวิศวกรรม	ระดับคุณภาพ 3 ขึ้นไป
คุณลักษณะ (A)			
มุ่งมั่นในการทำงาน	ความรับผิดชอบในงานที่ได้รับมอบหมาย การทำงานเป็นระบบและใช้เวลาตามที่กำหนด	1. ใบกิจกรรม 2. ใบงาน 3. ชิ้นงานและการนำเสนอ	ระดับคุณภาพ 3 ขึ้นไป

เกณฑ์การประเมิน

ประเด็นการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ปรับปรุง)
ความรู้ (K)				
ใบกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	ตอบคำถามจากใบกิจกรรมได้ถูกต้องร้อยละ 90 ขึ้นไป	ตอบคำถามจากใบกิจกรรมได้ถูกต้องร้อยละ 70-89	ตอบคำถามจากใบกิจกรรมได้ถูกต้องร้อยละ 50-69	ตอบคำถามจากใบกิจกรรมได้ถูกต้องต่ำกว่าร้อยละ 50
ใบงาน เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ ชิ้นงานและการนำเสนอ	ตอบคำถามจากใบงานได้ถูกต้องร้อยละ 90 ขึ้นไป มีคะแนนจากชิ้นงานและการนำเสนอร้อยละ 90 ขึ้นไป	ตอบคำถามจากใบงานได้ถูกต้องร้อยละ 70-89 มีคะแนนจากชิ้นงานและการนำเสนอร้อยละ 70-89	ตอบคำถามจากใบงานได้ถูกต้องร้อยละ 50-69 มีคะแนนจากชิ้นงานและการนำเสนอร้อยละ 50-69	ตอบคำถามจากใบงานได้ถูกต้องต่ำกว่าร้อยละ 50 มีคะแนนจากชิ้นงานและการนำเสนอร้อยละ 50
ทักษะ/ กระบวนการ (P)				
1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 9-10 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 7-8 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 4-6 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 0-3คะแนน

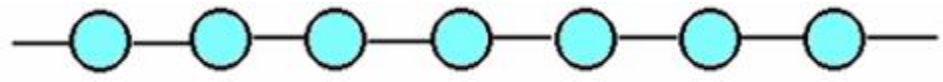
ประเด็นการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ปรับปรุง)
2. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 9-10 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 7-8 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 4-6 คะแนน	มีคะแนนจากแบบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 0-3 คะแนน
คุณลักษณะ (A) มุ่งมั่นในการทำงาน	ทำกิจกรรมได้เรียบร้อยถูกต้องครบถ้วนและทันตามเวลาที่กำหนด	ทำกิจกรรมได้เรียบร้อยถูกต้องครบถ้วนแต่ไม่ทันตามเวลาที่กำหนด	ทำกิจกรรมถูกต้องแต่ทำงานไม่เรียบร้อยและไม่ทันตามเวลาที่กำหนด	ทำกิจกรรมแต่ทำงานไม่ถูกต้องเรียบร้อยและไม่ทันตามเวลาที่กำหนด

สื่อและแหล่งเรียนรู้

1. ห้องสมุดโรงเรียน
2. ห้องสมุดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
3. อินเทอร์เน็ต จากเว็บไซต์ต่าง ๆ เช่น
   - 3.1 http://www.trf.or.th/index.php
   - 3.2 https://www.google.co.th
   - 3.3 http://www.nstda.or.th/investorsday/2011/biopro.php
   - 3.4 http://www.thairath.co.th/content/372789

ใบความรู้ที่ 1
เรื่อง พลาสติกชีวภาพ

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารที่มีขนาดใหญ่ มีมวลโมเลกุลสูง เกิดจากการรวมตัวกันของหน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วยมาเชื่อมต่อกัน หน่วยย่อยเหล่านี้เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer) พอลิเมอร์บางชนิดอาจประกอบด้วยมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียว และบางชนิดอาจประกอบด้วยมอนอเมอร์มากกว่า 1 ชนิด ดังรูป



รูปที่ 1 พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียว

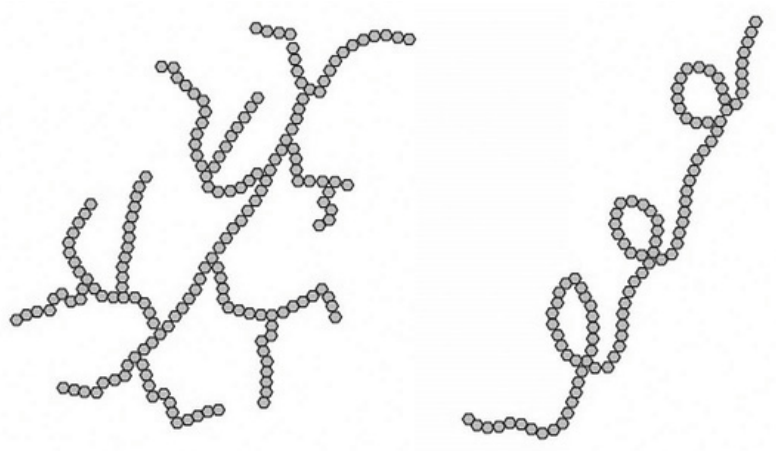
รูปที่ 2 พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์หลายชนิด

พอลิเมอร์มีทั้งส่วนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และส่วนที่สังเคราะห์ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส โปรตีน แป้ง ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน

พลาสติกชีวภาพ จัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง มนุษย์นำพลาสติกมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ภาชนะ ของเล่น อย่างไรก็ตามการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นเช่นกันเนื่องจาก กระบวนการย่อยสลายพลาสติกใช้เวลานานมาก การใช้พลาสติกที่มีส่วนผสมจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะเนื่องจากย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Biodegradable) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพ เช่น เซลลูโลส คอลลาเจน แป้ง

การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติมีองค์ประกอบหลัก คือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดยพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันคือ กลูโคส แต่ต่างกันที่โครงสร้างของพอลิเมอร์โดย อะไมโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่อะไมโลเพคตินมีโครงสร้างแบบกิ่ง



อะไมโลเพคติน อะไมโลส

รูปที่ 3 โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่พบในแป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพได้ ในการทดลองที่ 1 นักเรียนจะได้ทดลองเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยในการทดลองนี้นักเรียนจะได้ศึกษาลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้เมื่อใช้ปริมาตรของกลีเซอรอลแตกต่างกัน

การทดลองที่ 1
การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

จุดประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. เครื่องชั่งสารทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. บีกเกอร์ ขนาด 100 mL 1 ใบ
4. ถาดเทฟลอน
5. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 mL
6. แท่งแก้วคน
7. ช้อนตักสาร
8. หลอดหยดสาร
9. Hot plate
10. ไม้บรรทัด
11. กรรไกร

สารเคมี

1. น้ำ
2. แป้งมันสำปะหลัง
3. กลีเซอรอล

วิธีทดลอง

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 mL จำนวน 4 บีกเกอร์ โดยเขียนหมายเลขติดบีกเกอร์เป็นหมายเลข 1–4
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL ในทุกบีกเกอร์
3. เติมกลีเซอรอลลงในบีกเกอร์แต่ละหมายเลขดังนี้

บีกเกอร์หมายเลข	ปริมาตรกลีเซอรอล (mL)
1	0
2	1
3	2
4	3

4. คนสารในแต่ละบีกเกอร์จนสารเข้ากัน

5. เทสารผสมในบีกเกอร์หมายเลข 1 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 1

6. ทำการทดลองเช่นเดิม โดยเทสารผสมในบีกเกอร์หมายเลข 2–4 ลงในถาดเทฟลอนหมายเลข 2–4 ตามลำดับ

7. นำถาดเทฟลอนหมายเลข 1 ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (คนขณะให้ความร้อนไปด้วย) จนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับสารหมายเลข 2–4

9. นำถาดเทฟลอนทั้ง 4 ไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 70 °C จนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง

10. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

ใบความรู้ที่ 2
เรื่อง สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

การเลือกแผ่นฟิล์มพลาสติกไปใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องมีการพิจารณาสมบัติที่เหมาะสม เช่น การทดสอบแรงดึง การทดสอบความสามารถในการม้วนหรือพับ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. การทดสอบแรงดึง (Tension test) เป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ซึ่งการทดสอบแรงดึง มีวัตถุประสงค์ เพื่อวัดสมบัติความต้านทานของวัสดุต่อแรงดึง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ในการทดสอบจะเป็นการใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอดึงชิ้นงานให้ยืดออกและขาดในที่สุด โดยปกติแล้วมักจะทดสอบกับวัสดุที่<u>เหนียวมากกว่าเปราะ</u> ในที่นี้จะมีการทดสอบสมบัติ ดังนี้

1.1 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength)

ความต้านทานแรงดึง คือ ความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดนี้ สามารถบ่งชี้ได้ว่าชิ้นงานนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ถ้าชิ้นงานนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุน (Porosity) จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง

1.2 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation (%Strain)

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระยะของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด (Gage length) ของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมากแสดงว่าชิ้นงานนั้นสามารถเปลี่ยนรูปได้มากเมื่อได้รับแรงมากระทำ

ในทางปฏิบัติเรามักใช้ค่าเปอร์เซ็นการยืดตัว ในการวัดความเหนียวของวัสดุ เพราะสะดวกในการวัด ซึ่งค่าเปอร์เซ็นการยืดตัว จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ คือ ถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (ค่าเปอร์เซ็นการยืดตัวสูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตีขึ้นรูป ดึงเป็นลวด ฯลฯ ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ, Brittle) ก็จะนำไปขึ้นรูปยาก หรือทำไม่ได้ เปอร์เซ็นต์การยืดตัว สามารถหาจากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว } (\%El) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

เมื่อ L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด

L_o = ความยาวของเกจเริ่มต้น

2. การทดสอบความสามารถในการม้วนหรือพับ โดยการใช้แรงกดหรือบีบ แผ่นพลาสติกที่มีความเหนียวดี จะสามารถม้วน หรือพับได้ โดยไม่แตกหัก เพราะเป็นวัสดุที่อ่อนตัวได้ดี แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ ก็จะเกิดการแตกหักได้ง่าย

เอกสารอ้างอิง

ประวิทย์ สุแก้ว. (2556). *ความสำคัญของแผ่นพลาสติกกับระบบก๊าซชีวภาพ*. เข้าถึงได้จาก http://greenthaibiogas.com

การทดลองที่ 2
การทดสอบสมบัติบางประการของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

จุดประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วนหรือพับของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุด

1. ตัดแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรให้มีขนาด 1.0 x 5.0 cm. จำนวน 3 แผ่น
2. จับแผ่นฟิล์มทั้งสองด้าน ๆ ละ 1 เซนติเมตร ด้วยคลิบหนีบกระดาษสีขาว
3. ยึดปลายด้านหนึ่งของคลิบหนีบกระดาษให้แน่น แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงดึงปลายอีกด้านหนึ่งของคลิบหนีบกระดาษในแนวนอน
4. ดึงชิ้นงานให้ยืดออกและขาดจากกันเป็นสองส่วน
5. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดึงที่ทำให้แผ่นฟิล์มขาด

ตอนที่ 2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

1. ตัดแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรให้มีขนาด 1.0 x 5.0 cm. จำนวน 3 แผ่น
2. จับแผ่นฟิล์มทั้งสองด้าน ๆ ละ 1 เซนติเมตร ด้วยคลิบหนีบกระดาษสีขาว
3. ยึดปลายด้านหนึ่งของคลิบหนีบกระดาษให้แน่น แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงดึงปลายอีกด้านหนึ่งของคลิบหนีบกระดาษในแนวนอน
4. ดึงชิ้นงานให้ยืดออกและขาดจากกันเป็นสองส่วน
5. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความยาวของแผ่นฟิล์มที่ยืดออกไปจนขาดเมื่อเทียบกับความยาวเริ่มต้น แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ตอนที่ 3 การทดสอบความสามารถม้วนหรือพับเก็บ

1. ตัดแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรให้มีขนาด 1.0 x 5.0 cm. จำนวน 3 แผ่น
2. ทดสอบความสามารถในการม้วนหรือพับ โดยการใช้แรงกดหรือบีบ
3. บันทึกผลการทดสอบ

ใบบันทึกกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
(ตัวอย่างการบันทึกใบกิจกรรม)

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จงระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์
   ปัญหา ถุงเพาะชำกล้าไม้ทำมาจากพลาสติกซึ่งย่อยสลายยากซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
   เงื่อนไข เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่มีสมบัติ (ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วนหรือพับเก็บ) เหมาะสมเพื่อนำไปผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ทำการทดลองที่ 1 และ 2 จากนั้นตอบคำถามข้อ 2–6

2. เขียนสมมติฐานของการทดลอง
   เมื่อปริมาตรกลีเซอรอลในการเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน ฟิล์มที่เตรียมได้จะมีสมบัติแตกต่างกัน

3. เขียนนิยามเชิงปฏิบัติการ (คำศัพท์สำคัญ) ของการทดลอง
   พอลิเมอร์ คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดจากมอนอเมอร์จำนวนมากเชื่อมต่อกัน
   สมบัติของฟิล์มในการทดลองนี้ หมายถึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก

4. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
   ตัวแปรต้น ปริมาตรของกลีเซอรอล
   ตัวแปรตาม ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วนพับโดยฟิล์มโดยไม่แตก
   ตัวแปรควบคุม ชนิดและปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ปริมาตรน้ำ อุณหภูมิและเวลาในการอบ ความหนาของแผ่นฟิล์ม

5. ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองพร้อมเขียนผลการทดลองลงในตารางที่ออกแบบ

ตารางที่ 1 การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

ปริมาตรของกลีเซอรอล (mL)	ความต้านทานแรงดึง (N)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	8.0	7.8	8.2	8.0
1	6.4	6.0	6.2	6.2
2	1.8	2.0	2.0	1.93
3	0.5	0.6	0.5	0.53

ตารางที่ 2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ปริมาตรของกลีเซอรอล (mL)	ครั้งที่ทดสอบ	ค่าการยืดตัว (cm)				% การยืดตัว	% การยืดตัวเฉลี่ย
		ก่อนดึง	หลังดึง	ระยะการยืด	เฉลี่ย		
0	1	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00	
	2	3.00	3.00	0.00		0.00	
	3	3.00	3.00	0.00		0.00	
1	1	3.00	6.50	3.50	3.8	116.67	
	2	3.00	6.70	3.70		123.33	
	3	3.00	7.20	4.20		140.00	
2	1	3.00	7.00	4.00	5.33	133.33	
	2	3.00	9.00	6.00		200.00	
	3	3.00	9.00	6.00		200.00	
3	1	3.00	10.40	7.40	7.50	246.67	
	2	3.00	10.60	7.60		253.33	
	3	3.00	10.50	7.50		250.00	

ตารางที่ 3 การทดสอบความสามารถในการม้วนหรือพับฟิล์ม

ปริมาตรของกลีเซอรอล	ความสามารถในการม้วนหรือพับฟิล์ม			
(mL)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	การลงความเห็น
0	X	X	X	นำไปใช้ไม่ได้
1	√	√	√	นำไปใช้ได้
2	√	√	√	นำไปใช้ได้
3	X	X	X	นำไปใช้ไม่ได้

หมายเหตุ √ หมายถึง ม้วนพับได้โดยฟิล์มไม่แตก

X หมายถึง ม้วนพับไม่ได้ (ฟิล์มแตกหรือเกิดความเสียหายอย่างอื่น)

6. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

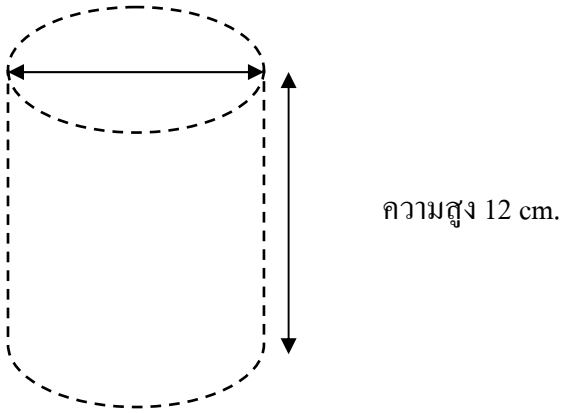
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ปริมาตรกลีเซอรอลในการเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน ฟิล์มที่เตรียมได้จะมีสมบัติแตกต่างกัน โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแผ่นฟิล์มคือ แป้งมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วน 4 g : 1 mL

การเติมกลีเซอรอลจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นฟิล์มพลาสติก จึงทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ได้มีลักษณะยืดหยุ่น ไม่แข็งเปราะ แต่ควรเติมในปริมาณที่เหมาะสม ถ้าเติมในปริมาณมากเกินไปจะทำให้แผ่นฟิล์มมีการยืดมาก เหนียวและติดกันเป็นก้อน ไม่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในอากาศ แผ่นฟิล์มจะมีการดูดซับไอน้ำในอากาศ ทำให้แผ่นฟิล์มไม่สามารถคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ดังนั้นควรเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในภาชนะปราศจากความชื้น หรือการนำไปผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ควรใช้แผ่นฟิล์มที่เตรียมเสร็จใหม่แล้วเคลือบด้วยสารที่มีสมบัติกันน้ำได้ และเมื่อผลิตถุงเพาะชำแล้วควรนำไปใช้งานทันที

7. ยกตัวอย่างพร้อมอธิบายความรู้ที่หรือกระบวนการที่นำมาใช้ในการออกแบบและผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ มา 3 ตัวอย่าง

ความรู้/กระบวนการ	การนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต
สมบัติของแผ่นฟิล์มพลาสติก	นำมาใช้เป็นแนวทางในการทดสอบและพิจารณาสมบัติที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มเพื่อนำไปผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้
วิธีการขึ้นรูปถุงเพาะชำกล้าไม้	นำมาใช้เป็นแนวทางในผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้
การหาปริมาตร	เพื่อผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ให้มีปริมาตรตามที่กำหนด

8. วาดรูปแบบร่างถุงเพาะชำกล้าไม้ พร้อมอธิบายรายละเอียด เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง

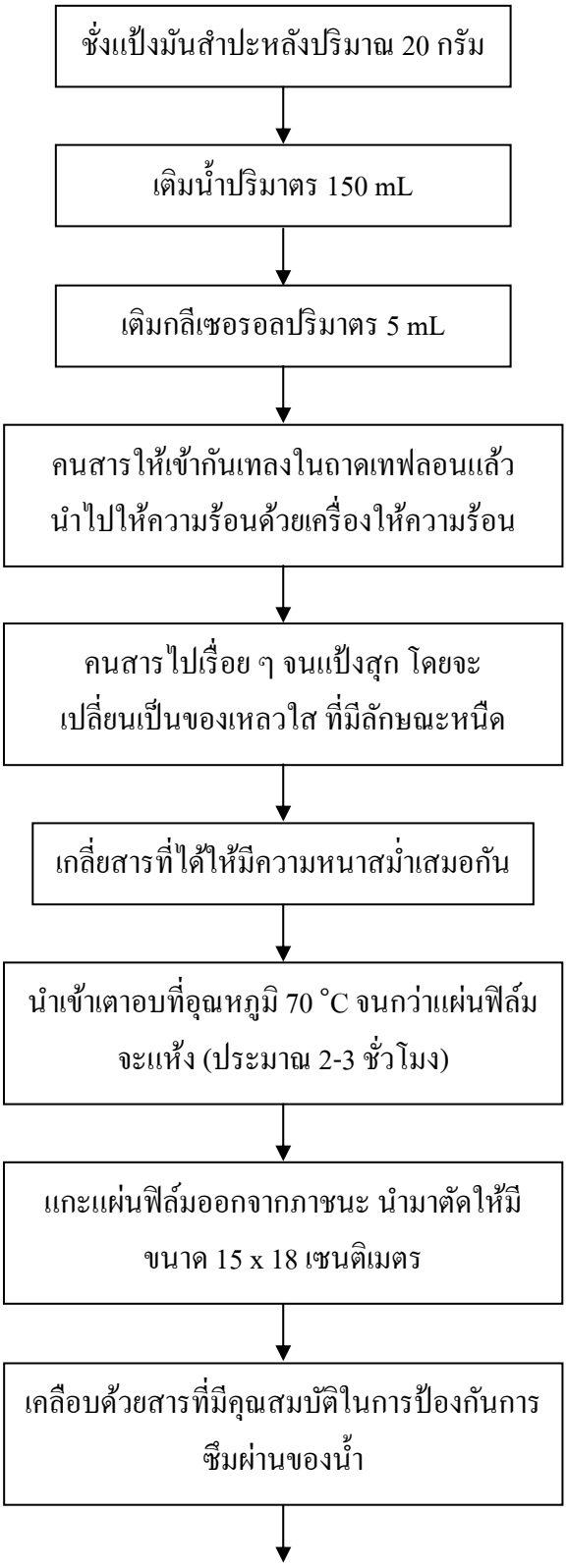


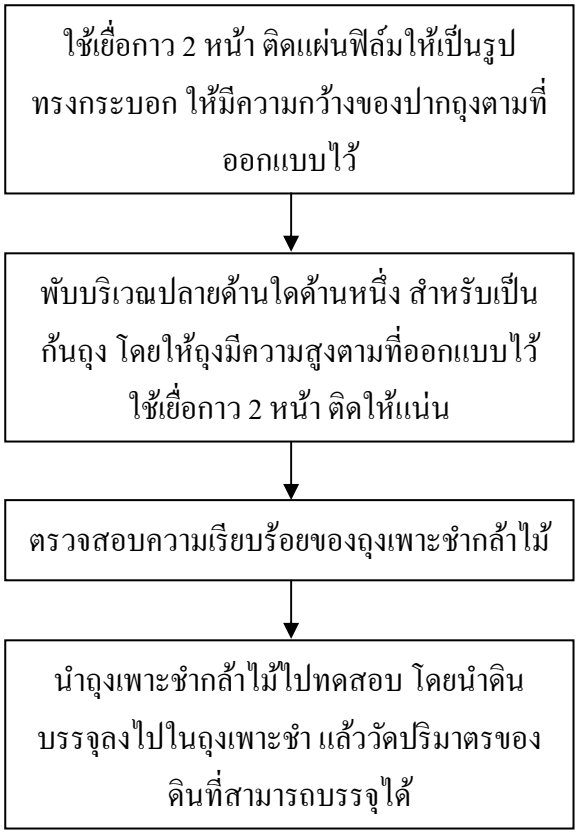
ปริมาตรทรงกระบอก $= \pi r^2 h$

$$= \frac{22}{7} \times (3\ \text{cm.})^2 \times 12\ \text{cm.}$$

$$= 339.43\ \text{cm.}^3$$

9. วาดรูปหรือเขียนแผนผังอธิบายขั้นตอนการทำถุงเพาะชำกล้าไม้ พร้อมระบุปริมาณสารเคมีที่ใช้





คำถามท้ายกิจกรรม

1. ถุงเพาะชำกล้าไม้ที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ปลูกกล้าไม้ได้จริงหรือไม่ ทราบได้อย่างไร
   ถุงเพาะชำกล้าไม้ที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ปลูกกล้าไม้ได้จริงเพราะ มีขนาดใหญ่พอสำหรับใส่กล้าไม้ เมื่อใส่ดินและกล้าไม้ลงไปแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด และเมื่อรดน้ำต้นกล้าแล้ว ถุงเพาะชำกล้าไม้ไม่เปื่อยยุ่ยเร็วจนเกินไป

กิจกรรม

ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

จุดประสงค์

1. อธิบายความหมายและความสำคัญของพลาสติกชีวภาพได้
2. เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังโดยอาศัยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมจากสูตรต่าง ๆ เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ได้
4. สร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยอาศัยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. เครื่องชั่งสาร
3. บีกเกอร์ ขนาด 100 mL 1 ใบ
4. ถาดเทฟลอน
5. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 mL
6. แท่งแก้วคน
7. ช้อนตักสาร
8. หลอดหยดสาร
9. เครื่องให้ความร้อน
10. ไม้บรรทัด
11. กรรไกร

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. แป้งมันสำปะหลัง
3. กลีเซอรอล

วิธีทำกิจกรรม

1. ศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้ จากนั้นตอบคำถามลงในใบบันทึกกิจกรรม ข้อที่ 1

สมมติว่านักเรียนอยู่ชุมนุมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และต้องการปลูกต้นไม้เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน แต่ถุงเพาะชำกล้าไม้เป็นถุงดำ ก่อให้เกิดปัญหาสภาพแวดล้อมเนื่องจากเป็นขยะที่ย่อยสลายยาก ภารกิจของนักเรียนคือผลิตแผ่นฟิล์มจากวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ โดยแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผลิตขึ้น จะต้องมีการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และสามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก เนื่องจากสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ โดยนักเรียนต้องผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ให้มีปริมาตรไม่น้อยกว่า 300 mL

2. ศึกษาใบความรู้ที่ 1 เรื่อง พลาสติกชีวภาพ จากนั้นทำการทดลองที่ 1 การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

3. ศึกษาใบความรู้ที่ 2 เรื่อง สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ จากนั้นทำการทดลองที่ 2 เรื่อง การทดสอบสมบัติบางประการของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ พร้อมตอบคำถามลงในใบบันทึกกิจกรรม ข้อที่ 2-6

4. อภิปรายเกี่ยวกับสัดส่วนของกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นฟิล์มเพื่อนำไปผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ โดยอ้างอิงจากผลการทดลองที่ 1 และ 2

5. วางแผนและดำเนินการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ตามเงื่อนไขในสถานการณ์ที่กำหนด พร้อมตอบคำถามข้อ 7–9

6. ตอบคำถามท้ายกิจกรรม

เกณฑ์การให้คะแนน

1. ใบบันทึกกิจกรรม (20 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ด้านกระบวนการทำงาน (กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม)			
การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	ระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ได้ถูกต้อง	ระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ไม่ถูกต้อง	ไม่มีการระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนด
การศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่ามีการศึกษาหรือทำการทดลองเพื่อศึกษาหาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรม	มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่ามีการศึกษาหรือทำการทดลองเพื่อศึกษาหาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรม แต่ข้อมูลไม่ครบถ้วน	ไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์
การออกแบบและวางแผนการทำงาน	มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่ามีออกแบบและวางแผนการทำงาน	มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่ามีออกแบบและวางแผนการทำงาน แต่ไม่มีการระบุรายละเอียดให้ครบถ้วนสมบูรณ์	ไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์
การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีเหตุผล	ไม่สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีเหตุผล	ไม่มีการอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของใบบันทึกกิจกรรม	ใบบันทึกกิจกรรมมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ง่ายต่อการอ่าน	ใบบันทึกกิจกรรมไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยหรือยากต่อการอ่าน	ไม่ส่งใบบันทึกกิจกรรม
ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ			
สมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานได้ถูกต้อง และสอดคล้องกับการทดลอง	ตั้งสมมติฐานไม่ถูกต้อง หรือไม่สอดคล้องกับการทดลอง	ไม่มีการตั้งสมมติฐาน
การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้อย่างถูกต้อง	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาแต่ผู้อ่านยังสามารถตีความได้คลาด เคลื่อนจากสิ่งที่ผู้ทำการทดลองต้องการสื่อสาร	ไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ
การกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้อง	ไม่มีการกำหนดและควบคุมตัวแปร
ผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องเหมาะสม เช่น วางตำแหน่งของตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ถูกต้อง	ไม่อธิบายผลการทดลอง

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ถูกต้องและสอดคล้องกับผลการทดลอง	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง	ไม่มีการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (10 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
ความสำเร็จ	ถุงเพาะชำกล้าไม้มีปริมาตรมากกว่าหรือเท่ากับ 300 mL	ถุงเพาะชำกล้าไม้มีปริมาตรน้อยกว่า 300 mL
การนำไปใช้งาน	สามารถนำไปใช้เป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ได้จริง	ไม่สามารถนำไปใช้เป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ได้จริง
สมบัติของฟิล์ม	สามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก	ไม่สามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก
ความคิดสร้างสรรค์	คิดวิธีทำการทดลองใหม่ ๆ หรือการทดสอบชิ้นงานได้ง่ายกว่าวิธีที่ครูกำหนด และผลการทดลองใกล้เคียงกัน	ทำตามขั้นตอนในใบกิจกรรมที่ให้มาทุกอย่าง ไม่คิดวิธีทำการทดลองใหม่ ๆ
การนำเสนอ	นำเสนอแนวคิดในการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้	ไม่สามารถนำเสนอแนวคิดในการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้

ใบงาน

เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้

คำชี้แจง อ่านสถานการณ์ที่กำหนดให้ จากนั้นทำการทดลองและและสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามสถานการณ์ที่กำหนด

นักเรียนได้นำเสนอโครงการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังให้กับชุมชนและได้รับการตอบรับอย่างดี เนื่องจากถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน

วันหนึ่ง ณ ชุมชนของนักเรียนเกิดปัญหาขาดแคลนแป้งมันสำปะหลัง ผู้นำชุมชนจึงได้มอบทุนวิจัยให้กับนักเรียนเพื่อให้พัฒนาสูตรผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพเพิ่มเติม นักเรียนจะใช้สิ่งใดผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพแทนแป้งมันสำปะหลัง และนักเรียนจะมีวิธีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตขึ้นมาใหม่กับพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังได้อย่างไร

เกณฑ์การให้คะแนน

1. เอกสารประกอบการทดลองหาสมบัติของฟิล์ม (10 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
สมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานได้ถูกต้อง และสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ตั้งสมมติฐานไม่ถูกต้อง หรือไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ไม่มีการตั้งสมมติฐาน
การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้อย่างถูกต้อง	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาแต่ผู้อ่านยังสามารถตีความได้คลาดเคลื่อนจากสิ่งที่ผู้ทำการทดลองต้องการสื่อสาร	ไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ
การกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้อง	ไม่มีการกำหนดและควบคุมตัวแปร
การทดลอง	อธิบายวิธีทดลองและออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	อธิบายวิธีทดลองและออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องเหมาะสม เช่น ไม่คำนึงถึงความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง	ไม่อธิบายวิธีทดลองและตารางบันทึกผลการทดลอง
การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ถูกต้องและสอดคล้องกับผลการทดลอง	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง	ไม่มีการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (10 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
เวลาที่ใช้สร้างชิ้นงาน	ไม่เกิน 2 สัปดาห์	เกิน 2 สัปดาห์
ความสำเร็จ	สามารถนำไปใช้เป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ได้จริง	ไม่สามารถนำไปใช้เป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ได้จริง
สมบัติของฟิล์ม	สามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก	ไม่สามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตก
ความคิดสร้างสรรค์	ถุงเพาะชำมีความแปลกใหม่และน่าสนใจ	ถุงเพาะชำไม่มีความแปลกใหม่และน่าสนใจ
การนำเสนอ	นำเสนอแนวคิดในการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ได้	ไม่สามารถนำเสนอแนวคิดในการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้ได้

เอกสารประกอบการทดลอง
(ตัวอย่างการบันทึกเอกสารประกอบการทดลอง)

แหล่งวัสดุธรรมชาติที่นักเรียนเลือกใช้ คือ แป้งข้าวโพด

1. สมมติฐาน

   - แผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดมีสมบัติใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลัง
   - แผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปผลิตเป็นถุงเพราะชำกล้าไม้ได้เหมือนกัน

2. นิยามเชิงปฏิบัติการ

   ในการทดลองนี้

   - สมบัติของฟิล์มในการทดลองนี้ หมายถึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตกและความสามารถในการขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้
   - ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด หมายถึง ความแข็งแรงสูงสุดของแผ่นฟิล์ม เป็นค่าแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการดึงแผ่นฟิล์มจนทำให้แผ่นฟิล์มขาด
   - ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว หมายถึง ปริมาณ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระยะของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง ใช้วัดความเหนียวของวัสดุ

3. ตัวแปร

   ตัวแปรต้น ชนิดของแป้ง

   ตัวแปรตาม ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ความสามารถในการม้วนพับโดยฟิล์มโดยไม่แตก การขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

   ตัวแปรควบคุม ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ปริมาตรน้ำ ปริมาตรกลีเซอรอล อุณหภูมิและเวลาในการอบ ความหนาของแผ่นฟิล์ม

4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

   อุปกรณ์

   1. ตู้อบ
   2. เครื่องชั่งสารทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3. บีกเกอร์ ขนาด 100 mL
4. ถาดเทฟลอน
5. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL 1 ใบ
6. กรรไกร
7. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 mL
8. แท่งแก้วคน
9. ช้อนตักสาร
10. หลอดหยดสาร
11. เครื่องให้ความร้อน
12. ไม้บรรทัด

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. แป้งมันสำปะหลัง
3. กลีเซอรอล
4. แป้งข้าวโพด

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดแป้งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ชนิดละ 4 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ชนิดละบีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL ในทุกบีกเกอร์
3. เติมกลีเซอรอล ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ จากนั้นคนสารให้เข้ากันและเทสารลงในถาดเทฟลอน
4. นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (คนขณะให้ความร้อนไปด้วย) จนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด
5. นำไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงหรือจนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง
6. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ
7. นำแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ไปวัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความสามารถในการม้วน หรือพับเก็บได้

ตอนที่ 2 การเตรียมแผ่นฟิล์มเพื่อผลิตเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

เตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพทั้ง 2 ชนิด โดยเพิ่มปริมาณสารที่ใช้เป็น 5 เท่าของการทดลองแรก ดังนี้

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด ชนิดละ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ชนิดละบีกเกอร์

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 mL ในทุกบีกเกอร์

3. เติมกลีเซอรอล ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ จากนั้นคนสารให้เข้ากันและเทสารลงในถาดเทฟลอน

4. นำไปให้ความร้อนด้วย Hotplate (คนขณะให้ความร้อนไปด้วย) จนได้สารละลายที่มีลักษณะหนืด

5. นำไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง

6. นำแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพเคลือบด้วยสารที่มีสมบัติกันน้ำได้ จากนั้นนำ ไปขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดสอบสมบัติ

การทดสอบสมบัติ	แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง				แผ่นฟิล์มจากแป้งข้าวโพด			
ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (N)	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	1.8	2.0	2.0	1.93	1.8	1.8	1.6	1.73
ม้วนหรือพับได้	133.33	200.00	200.00	177.78	40.00	33.33	33.33	35.53

ตารางที่ 2 การขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

รายการ	ชนิดของแป้ง	
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพด
รูปถ่าย		
ความเหมาะสมในการใช้งาน	ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ได้จริงเพราะ - มีขนาดใหญ่พอสำหรับใส่กล้าไม้ - เมื่อใส่ดินและกล้าไม้ลงไปแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด - เมื่อรดน้ำต้นกล้าแล้ว ถุงเพาะชำกล้าไม้ไม่เปื่อยยุ่ยเร็วจนเกินไป	ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งข้าวโพดสามารถนำไปใช้ได้จริงเพราะ - มีขนาดใหญ่พอสำหรับใส่กล้าไม้ - เมื่อใส่ดินและกล้าไม้ลงไปแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด - เมื่อรดน้ำต้นกล้าแล้ว ถุงเพาะชำกล้าไม้ไม่เปื่อยยุ่ยเร็วจนเกินไป

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สมบัติของแผ่นพลาสติกชีวภาพ

แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดมี ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดใกล้เคียงกันและความสามารถม้วนหรือพับเก็บได้โดยแผ่นฟิล์มไม่แตกหักเหมือนกัน แต่มีสมบัติที่แตกต่างกันคือ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงกว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งข้าวโพดอย่างชัดเจน

การขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

ทั้งแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสม พบว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังจะมีความไม่คงตัวเพราะเมื่อทิ้งแผ่นฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิห้อง แผ่นฟิล์มจะมีการดูดซับไอน้ำในอากาศ ทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าการยืดและความเหนียวเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่อม้วนหรือพับเก็บจะทำให้แผ่นฟิล์มติดกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งข้าวโพด

มีความคงตัว สามารถคงรูปร่างเดิมไว้ได้จึงน่าจะเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้มากกว่า

คำถามท้ายกิจกรรม

1. ถุงเพาะชำกล้าไม้ที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ปลูกกล้าไม้ได้จริงหรือไม่ ทราบได้อย่างไร
ถุงเพาะชำกล้าไม้ที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ปลูกกล้าไม้ได้จริงเพราะ มีขนาดใหญ่พอสำหรับใส่กล้าไม้ เมื่อใส่ดินและกล้าไม้ลงไปแล้วถุงเพาะชำไม่ฉีกขาด และเมื่อรดน้ำต้นกล้าแล้ว ถุงเพาะชำกล้าไม้ไม่เปื่อยยุ่ยเร็วจนเกินไป

แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนโดยครู
กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย √ ลงในช่อง “ผลการประเมิน” ตามที่แต่ละกลุ่มได้ปฏิบัติจริงพร้อมระบุเชิงประจักษ์

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
ระบุปัญหา (Identify a challenge)		
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด เชิงประจักษ์	
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด เชิงประจักษ์	
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)		
3.	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม เชิงประจักษ์	
4.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม เชิงประจักษ์	
5.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้อย่างไร เชิงประจักษ์	
6.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 2 สูตรหรือ 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม เชิงประจักษ์	
7.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม เชิงประจักษ์	

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
วางแผนและพัฒนา (Plan and develop)		
8.	ร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมระบุรายละเอียด เชิงประจักษ์	
9.	เขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ เชิงประจักษ์	
10.	ดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน เชิงประจักษ์	
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)		
11.	ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตสามารถนำไปใช้งานได้จริง เชิงประจักษ์	
12.	ในกรณีที่ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงนักเรียนมีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง เชิงประจักษ์	
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)		
13.	นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง เชิงประจักษ์	
14.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำ ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ เชิงประจักษ์	

แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม
เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
สมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานได้ถูกต้องและสอด คล้องกับการทดลอง	ตั้งสมมติฐานไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับการทดลอง	ไม่มีการตั้งสมมติฐาน
การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้อย่างถูกต้อง	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาแต่ผู้อ่านยังสามารถตีความได้คลาดเคลื่อนจากสิ่งที่ผู้ทำการทดลองต้องการสื่อสาร	ไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ
การกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้อง	ไม่มีการกำหนดและควบคุมตัวแปร
ผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องเหมาะสม เช่น วางตำแหน่งของตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ถูกต้อง	ไม่อธิบายผลการทดลอง
การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ถูก ต้องและสอดคล้องกับผลการทดลอง	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง	ไม่มีการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
สมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานได้ถูกต้องและสอด คล้องกับการทดลอง	ตั้งสมมติฐานไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับการทดลอง	ไม่มีการตั้งสมมติฐาน
การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้อย่างถูกต้อง	ให้ความหมายของคำสำคัญต่าง ๆ ในสมมติฐานหรือตัวแปรเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาแต่ผู้อ่านยังสามารถตีความได้คลาด เคลื่อนจากสิ่งที่ผู้ทำการทดลองต้องการสื่อสาร	ไม่มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ
การกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม หรือตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้อง	ไม่มีการกำหนดและควบคุมตัวแปร
ผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องเหมาะสม เช่น วางตำแหน่งของตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ถูกต้อง	ไม่อธิบายผลการทดลอง
การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองได้ถูก ต้องและสอดคล้องกับผลการทดลอง	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง	ไม่มีการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

สถานการณ์ที่กำหนดให้มีดังนี้

"นักเรียนประสบผลสำเร็จในด้านการพัฒนาแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้ และได้นำเสนอโครงการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งชนิดอื่น ๆ ให้กับชุมชนและได้รับการตอบรับอย่างดี มีคนในชุมชนหันมาให้ความสนใจ และสั่งซื้อถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจำนวนมาก นอกจากจะสั่งซื้อถุงเพาะชำกล้าไม้แล้ว คนในชุมชนยังต้องการให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แผ่นฟิล์ม ผู้นำชุมชนจึงได้มอบทุนวิจัยให้นักเรียนในการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพื่อให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน นักเรียนจะมีวิธีการทดลองเพื่อขึ้นรูปและทดสอบสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งชนิด

คำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนจะตั้งสมมติฐานว่าอย่างไร
2. คำใดบ้างที่ต้องมีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ และนักเรียนจะกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการว่าอย่างไร
3. ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ "ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน" ให้นักเรียนระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม
4. ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ "ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน" ให้นักเรียนออกแบบอธิบายวิธีทดลองและวิธีบันทึกผลการทดลอง
5. ถ้าสมมติฐานของนักเรียนคือ "ถ้าชนิดของแป้งมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกชีวภาพ ดังนั้นแป้งต่างชนิดกันสามารถขึ้นรูปได้แตกต่างกัน" ให้นักเรียนบอกแนวทางในการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

ภาคผนวก ค

แบบประเมินที่ใช้ในการหาคุณภาพของกิจกรรม

แบบประเมินที่ใช้ในการหาคุณภาพของกิจกรรม

1. แบบประเมินกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้านการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2. แบบประเมินกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้านการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ

3. แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ

4. แบบประเมินความสอดคล้องทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

5. แบบประเมินความสอดคล้องทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมายโดยผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ
กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการบูรณาการสะเต็มศึกษาโดย

1 หมายถึง มีการบูรณาการหัวข้อ เนื้อหา หรือกระบวนการนั้นในกิจกรรม
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง ไม่มีการบูรณาการหัวข้อ เนื้อหา หรือกระบวนการนั้นในกิจกรรม

ลำดับ	หัวข้อ/เนื้อหา/กระบวนการ	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
วิทยาศาสตร์ (S)				
1	พอลิเมอร์			
2	สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์			
3	พลาสติกชีวภาพจากแป้ง			
เทคโนโลยี (T)				
4	การใช้อุปกรณ์ชั่ง ตวง วัด			
5	แนวทางการเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้ง			
6	ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ			
คณิตศาสตร์ (M)				
7	อัตราส่วน			
8	การวัด			
9	สถิติอย่างง่าย เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ			

หมายเหตุ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแยกพิจารณาเฉพาะใน STEM-3

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ
กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการบูรณาการสะเต็มศึกษาโดย

1 หมายถึง กิจกรรมสอดคล้องกับตัวชี้วัด
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง กิจกรรมไม่สอดคล้องกับตัวชี้วัด

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
วิทยาศาสตร์ (S)				
1	อธิบายการเกิดพอลิเมอร์*			
2	อภิปรายการนำพอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม*			
3	ทดลองและอธิบายสมบัติของวัสดุเกี่ยวกับความยืดหยุ่น ความแข็ง และความเหนียว*			
4	กำหนดตัวแปรที่สำคัญในการสำรวจตรวจสอบ หรือศึกษาค้นคว้าเรื่องที่สนใจได้อย่างครอบคลุม และเชื่อถือได้**			
5	สร้างสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบได้และวางแผนการสำรวจตรวจสอบหลาย ๆ วิธี**			
6	รวบรวมข้อมูลจัดกระทำข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ**			
7	วิเคราะห์และประเมินความสอดคล้องของประจักษ์พยานกับข้อสรุป ทั้งที่สนับสนุนหรือขัดแย้งกับสมมติฐานและความผิดปกติของข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบ**			

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
เทคโนโลยี (T)				
8	มีความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง			
9	เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการเทคโนโลยีด้วยการลดใช้ทรัพยากรหรือเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม			
คณิตศาสตร์ (M)				
10	เลือกใช้หน่วยการวัดได้อย่างเหมาะสม			
11	ใช้การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัดในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม			
12	หาปริมาตรของปริซึม ทรงกระบอก พีระมิด กรวย และทรงกลม			
13	ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม			
14	เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์ และนำความรู้หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ			

<u>หมายเหตุ</u> *เนื่องจากเป็นวิชาโครงงาน ดังนั้นตัวชี้วัดที่ใช้ในกิจกรรมบางตัวชี้วัดไม่ได้อยู่ในช่วงชั้นที่ 3 แต่มีการปรับประดับความยากและง่ายให้เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน

**ตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

***กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแยกพิจารณาเฉพาะใน STEM-3

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ
กิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับ EDP โดย

1 หมายถึง กิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการ EDP ดังกล่าว
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง กิจกรรมไม่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการ EDP ดังกล่าว

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
ระบุปัญหา (Identify a challenge)				
1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด			
2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด			
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)				
3	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม			
4	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม			
5	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้อย่างไร			
6	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 2 สูตรหรือ 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม			
7	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม			

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
วางแผนและพัฒนา (Plan and develop)				
8	ร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมระบุรายละเอียด			
9	เขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ			
10	ดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน			
ทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluation)				
11	ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตสามารถนำไปใช้งานได้จริง			
12	ในกรณีที่ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นักเรียนมีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง			
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)				
13	นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง			
14	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ			
15	นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผ่านการใช้งานมาจัดแสดง			

หมายเหตุ *ลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือ Engineering Design Process (EDP) อ้างอิงจากเอกสารการประชุม International Technology Education Association. (2005). Invention: the invention crusade (Page 5)

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม
เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญ

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดย

1 หมายถึง กิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะดังกล่าว
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง กิจกรรมไม่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะดังกล่าว

ลำดับ	ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
1	ทักษะการตั้งสมมติฐาน			
2	ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ			
3	ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร			
4	ทักษะการทดลอง			
5	ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป			

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย
เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดย

1 หมายถึง การมอบหมายงานนี้ประเมินทักษะดังกล่าว
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง การมอบหมายงานนี้ไม่ประเมินทักษะดังกล่าว

ลำดับ	ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
1	ทักษะการตั้งสมมติฐาน			
2	ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ			
3	ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร			
4	ทักษะการทดลอง			
5	ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป			

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

ตารางที่ 34 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำกิจกรรม ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

ตารางที่ 35 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากการทำงานตามที่ได้รับมอบหมายเรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม $\sum R$	IOC	ผลการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองกลุ่มใหญ่

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองกลุ่มใหญ่

1. ผลการประเมินประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
2. ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการรายกลุ่มจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษากิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2 (คะแนนเต็ม 20 คะแนน)

กลุ่มที่	คะแนนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ									
	กิจกรรมที่ 1					กิจกรรมที่ 2				
	ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 3	ด้าน 4	ด้าน 5	ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 3	ด้าน 4	ด้าน 5
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
4	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2
5	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
6	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
8	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
9	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
11	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
คะแนนรวมรายด้าน	16	17	18	12	12	20	19	21	19	19
$\overline{X}$	1.45	1.55	1.64	1.09	1.09	1.82	1.73	1.91	1.73	1.73
S.D.	0.52	0.52	0.50	0.30	0.30	0.41	0.47	0.30	0.47	0.47

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบคะแนนประเมินด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการราย
ด้านจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษากิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 2

ด้านการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ				
ทักษะการตั้งสมมติฐาน	1.45	0.52	72.5	ดี
ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.55	0.52	77.5	ดี
ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.64	0.50	82.0	ดี
ทักษะการทดลอง	1.09	0.30	54.5	พอใช้
ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.09	0.30	54.5	พอใช้
เฉลี่ย 5 ทักษะ	1.36	0.43	68.0	
ระดับคุณภาพโดยภาพรวม			พอใช้	
กิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ				
ทักษะการตั้งสมมติฐาน	1.82	0.41	91.0	ดีมาก
ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.73	0.47	86.5	ดี
ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.91	0.30	95.5	ดีมาก
ทักษะการทดลอง	1.73	0.47	86.5	ดี
ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.73	0.47	86.5	ดี
เฉลี่ย 5 ทักษะ	1.78	0.42	89.0	
ระดับคุณภาพโดยภาพรวม			ดี	

ตารางที่ 38 ผลคะแนนในกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพของนักเรียน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
1. ด้านกระบวนการทำงาน				
1.1 การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	1.82	0.41	91.0	ดีมาก
1.2 การศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	2.00	0.00	100.0	ดีมาก
1.3 การออกแบบและวางแผนการทำงาน	1.82	0.41	91.0	ดีมาก
1.4 การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	1.64	0.50	82.0	ดี
1.5 ความเป็นระเบียบของใบบันทึกกิจกรรม	1.64	0.50	82.0	ดี
เฉลี่ย 5 ด้าน	1.78	0.36	89.0	ดี
2. ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ				
2.1 การตั้งสมมติฐาน	1.45	0.52	72.5	ดี
2.2 การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.55	0.52	77.5	ดี
2.3 การกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.64	0.50	82.0	ดี
2.4 ผลการทดลอง	1.09	0.30	54.5	พอใช้
2.5 การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.09	0.30	54.5	พอใช้
รวมเฉลี่ย 5 ด้าน	1.36	0.43	68.0	พอใช้
3. ชิ้นงานและการนำเสนอ				
3.1 ความสำเร็จ	1.55	0.52	77.5	ดี
3.2 การนำไปใช้งาน	1.55	0.52	77.5	ดี
3.3 สมบัติของฟิล์ม	1.64	0.50	82.0	ดี
3.4 ความคิดสร้างสรรค์	1.36	0.50	68.0	พอใช้
3.5 การนำเสนอ	1.64	0.50	82.0	ดี
รวมเฉลี่ย 5 ด้าน	1.54	0.51	77.0	ดี

ตารางที่ 39 ผลคะแนนในกิจกรรมที่ 2 เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพของนักเรียน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
1. ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์				
1.1 การตั้งสมมติฐาน	1.82	0.41	91.0	ดีมาก
1.2 การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1.73	0.47	86.5	ดี
1.3 การกำหนดและควบคุมตัวแปร	1.91	0.30	95.5	ดีมาก
1.4 ผลการทดลอง	1.73	0.47	86.5	ดีมาก
1.5 การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1.73	0.47	86.5	ดีมาก
เฉลี่ย 5 ด้าน	1.78	0.42	89.0	ดี
2. ชิ้นงานและการนำเสนอ				
2.1 ความสำเร็จ	1.45	0.52	72.5	ดี
2.2 การนำไปใช้งาน	1.45	0.52	72.5	ดี
2.3 สมบัติของฟิล์ม	1.64	0.50	82.0	ดี
2.4 ความคิดสร้างสรรค์	1.73	0.47	91.0	ดีมาก
2.5 การนำเสนอ	1.91	0.30	95.5	ดีมาก
เฉลี่ย 5 ด้าน	1.64	0.46	82.0	ดี

ตารางที่ 40 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ (หลักฐานเชิงประจักษ์)

ลำดับ	รายการ
ระบุปัญหา (Identify a challenge)	
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์การระบุปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่เขียนตอบโดยรวม ซึ่งไม่ทำการแยกประเด็นในการตอบระหว่างปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์การระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่เขียนตอบโดยรวม ซึ่งไม่ทำการแยกประเด็นในการตอบระหว่างปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)	
3.	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม <u>เชิงประจักษ์</u> จากการสังเกตในขั้นตอนของการทำกิจกรรมและสัมภาษณ์เพิ่มเติมพบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีการศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม
4.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม <u>เชิงประจักษ์</u> จากการสังเกตในขั้นตอนของการทำกิจกรรม พบว่านักเรียนทุกกลุ่มทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม

ตารางที่ 40 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
ระบุปัญหา (Identify a challenge)	
5.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้อย่างไร <u>เชิงประจักษ์</u> จากการสังเกตในขั้นตอนของการอภิปราย พบว่านักเรียนสามารถนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลอง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ไม่ร่วมแสดงความคิดเห็นหรืออภิปราย
6.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 2 สูตรหรือ 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม <u>เชิงประจักษ์</u> จากการสังเกตในขั้นตอนของการอภิปรายและการสัมภาษณ์ พบว่านักเรียนมีการนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 2 สูตรหรือ 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ไม่ร่วมแสดงความคิดเห็นหรืออภิปราย
7.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าแนวคิดที่เลือกส่วนใหญ่สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม
8.	ร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมระบุรายละเอียด <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มสามารถร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมทั้งระบุรายละเอียด
วางแผนและพัฒนา (Plan and develop)	
9.	เขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มสามารถเขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้

ตารางที่ 40 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
10.	ดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน เชิงประจักษ์ จากการสังเกต การวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน และการสัมภาษณ์ พบว่า จำนวนนักเรียนที่สามารถดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ มีจำนวน 8 กลุ่ม ส่วนนักเรียนที่ไม่ได้ดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ออกแบบและวางแผนไว้ มีจำนวน 3 กลุ่ม
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)	
11.	ทำการทดลองเพื่อทดสอบและประเมินผล เชิงประจักษ์ จากการสังเกตในขั้นตอนของการทำกิจกรรม พบว่านักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม มีการดำเนินการทดลองเพื่อทดสอบและประเมินผล อีก 3 กลุ่มไม่มีการทดลองเพื่อทดสอบและประเมินผลเนื่องจากทำงานไม่เสร็จภายในเวลาที่กำหนด
12.	ในกรณีที่ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นักเรียนมีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง เชิงประจักษ์ จากการสังเกต และการสัมภาษณ์ พบว่า มีนักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม ที่ประสบผลสำเร็จในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ โดยทำการทดสอบและประเมินผลหลายครั้งแล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินผล มาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติของถุงเพาะชำกล้าไม้ให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยนักเรียนทั้ง 8 กลุ่มที่ประสบผลสำเร็จในการทำกิจกรรมจะมีการจัดสรรเวลาและการวางแผนที่ดี มีความมุ่งมั่นในการทำงาน แต่มีนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม ทำงานไม่สำเร็จตามเวลาที่กำหนด
13.	นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง เชิงประจักษ์ จากการนำเสนอผลงานด้วยสื่อ PowerPoint พบว่า มีนักเรียนจำนวน 8 กลุ่ม ที่ประสบผลสำเร็จในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ และสามารถนำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง

ตารางที่ 40 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
14.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ <u>เชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์การนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน และจากการนำเสนอข้อมูลด้วยสื่อ PowerPoint พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ แต่มีนักเรียนจำนวน 3 กลุ่มที่นำเสนอไม่ครบถ้วนหรือไม่ตรงประเด็น

ตารางที่ 41 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ (จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติได้)

รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
1. ระบุปัญหา (Identify a challenge)		
1.1 มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์	10	90.91
1.2 มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	10	90.91
รวมเฉลี่ย	10	90.91
2. ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)		
2.1 ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม	11	100.00
2.2 ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม	11	100.00
2.3 นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพได้อย่างไร	10	90.91

ตารางที่ 41 (ต่อ)

รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
2.5 แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	11	100.00
รวมเฉลี่ย	10.6	96.37
3. วางแผนและพัฒนา (Plan and develop)		
3.1 ร่างแบบถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพพร้อมระบุรายละเอียด	11	100.00
3.2 เขียนวิธีการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	11	100.00
3.3 ดำเนินการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพตามที่ได้ออกแบบและวางแผน	8	72.73
รวมเฉลี่ย	10	90.91
4. ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)		
4.1 ทำการทดลองเพื่อทดสอบและประเมินผล	8	72.73
4.2 ในกรณีที่ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นักเรียนมีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง	8	72.73
รวมเฉลี่ย	8	72.73
5. นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)		
5.1 นำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตมาแสดง	8	72.73
5.2 นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ	11	100
รวมเฉลี่ย	9.5	86.37
รวมเฉลี่ยทั้ง 5 ด้าน	9.62	87.46

ภาคผนวก ฉ

ภาพการดำเนินการวิจัย

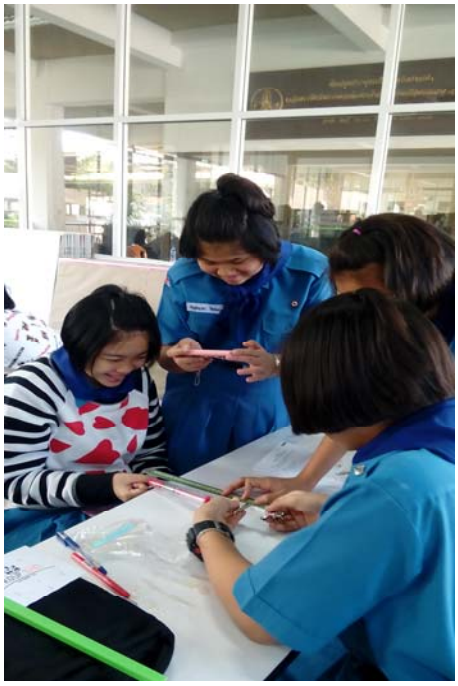
ภาพการดำเนินการวิจัย

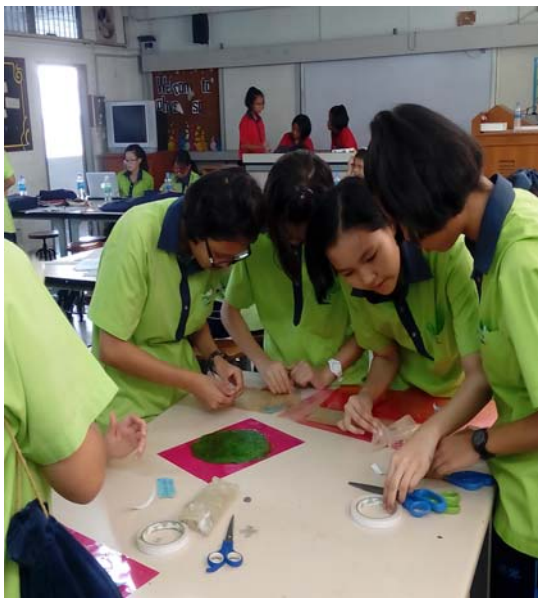
1. ภาพผลงานนักเรียน
2. ภาพกิจกรรมการเรียน
3. หนังสือราชการที่เกี่ยวข้อง

ภาพผลงานนักเรียน

ผลงานนักเรียนจากการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

ภาพกิจกรรมการเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง





ใบบันทึกกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
(ตัวอย่างใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน)

DOC – 2 ใบกิจกรรม เรื่อง ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ 25

ใบบันทึกกิจกรรม

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จงระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์

ปัญหา ถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพสลายตัวช้าเกินไป
เงื่อนไข เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่ค่าปริมาณสูงสุด ค่าความยืดหยุ่น

ทำการทดลองที่ 1 และ 2 จากนั้นตอบคำถามข้อ 2 – 6

2. เขียนสมมติฐานของการทดลอง

เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างกัน ฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังต่างกัน

3. เขียนนิยามเชิงปฏิบัติการ (คำศัพท์สำคัญ) ของการทดลอง

แป้งมันสำปะหลัง คือ แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง
สมบัติของฟิล์มในการทดลอง คือ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และ
ความสามารถในการย่อยสลายได้ไม่เกิน

4. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

4.1 ตัวแปรต้น ปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง
4.2 ตัวแปรตาม ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว สามารถย่อยสลายได้
4.3 ตัวแปรควบคุม ชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณน้ำ อุณหภูมิและเวลาในการอบ ความหนาของแผ่นฟิล์ม

5. ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองพร้อมเขียนผลการทดลองลงในตารางที่ออกแบบ

ตารางที่ 1 การทดสอบความทนต่อแรงยึดของพลาสติกชีวภาพจากถั่วเหลือง

ปีกเกอร์ที่	ความทนต่อแรงยึด (นิวตัน)		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
1	3	2	2.5
2.	1	3	2

ตารางที่ 2 การทดสอบการยืดตัวของพลาสติกชีวภาพ

ปีกเกอร์ที่	ระยะการยืด (cm.)		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
1	5	6	5.5
2	3	4	3.5

(2)

ตารางที่ 3 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลาย

ปีกเกอร์ที่	ความสามารถในการย่อยสลาย		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	การลงความเห็น
1	✓	✓	เหมาะแก่การใช้งาน
2	✓	✓	เหมาะแก่การใช้งาน

ตัวอย่าง 1.) ปีกเกอร์ที่ 1 คือ แป้งมันเชื่อมสี

2.) ปีกเกอร์ที่ 2 คือ แป้งสำเร็จรูป

3.) สูตรที่ใช้คือ แป้ง : น้ำ : กลีเซอรอล คือ 12 g : 90 ml : 9 ml.

4.) ในตารางที่ 3 เครื่องหมาย ✓ คือ สามารถย่อยสลายได้

เครื่องหมาย X คือ ไม่สามารถย่อยสลายได้

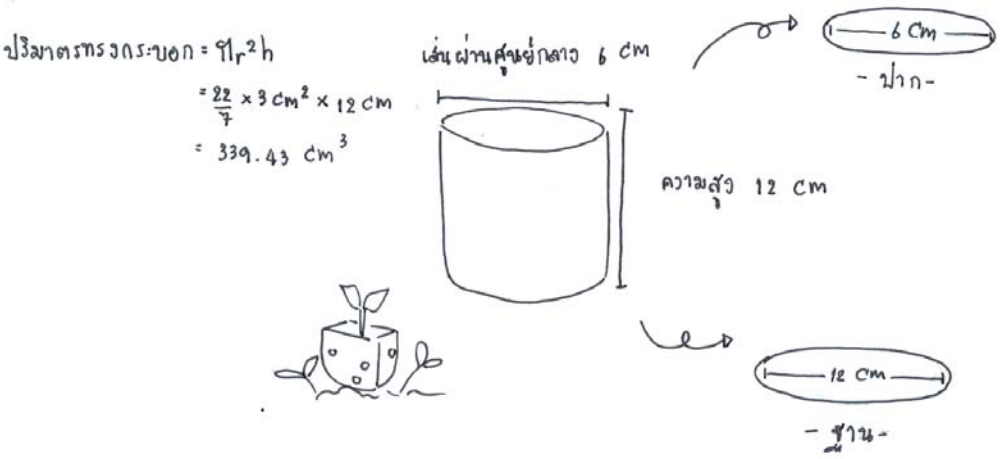
6. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลในการเตรียมแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแผ่นฟิล์ม คือ แป้งมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วน 4g : 1 ml ซึ่งการเติมปริมาณกลีเซอรอลนั้นมีผลต่อการยืดหยุ่นและความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งหากเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกมีความยืดหยุ่น ไม่แข็งแรง แต่หากเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้แผ่นฟิล์มยืด เหนียว และดูดน้ำได้มาก ไม่สามารถลอกออกจากแม่พิมพ์ได้ และหากเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่น้อยเกินไป จะทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็ง ไม่ยืดหยุ่น หากนำแผ่นฟิล์มไปฝังดินจะย่อยสลายได้ช้า ทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการควบคุมปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมจะสามารถนำไปใช้ได้จริง เราควรเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่พอเหมาะ ลองเทียบแผ่นฟิล์มไปใช้งานจริงเช่น นำไปใช้ห่อของ แผ่นฟิล์มที่เตรียมสังเคราะห์ขึ้นมาจากแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่ดี แต่ยังมีข้อด้อยบางประการที่ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข เช่น ไม่ทนต่อน้ำ ดูดซึมน้ำได้ดี ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ห่อของที่มีความชื้นสูง แต่สามารถนำไปใช้ในการเพาะชำกล้าไม้ได้ เนื่องจากถุงเพาะชำกล้าไม้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ปลูกต้นกล้า และสามารถนำไปใช้ได้จริงในการทดลอง

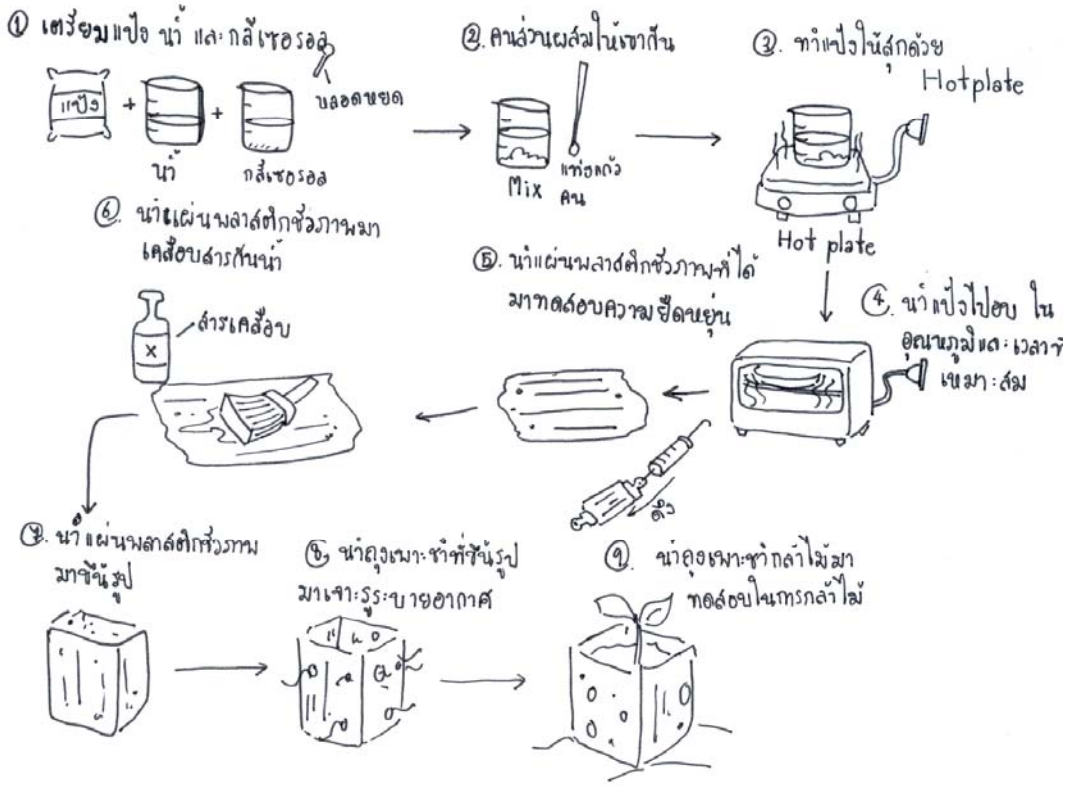
7. *ยกตัวอย่างพร้อมอธิบายความรู้ที่หรือกระบวนการที่นำมาใช้ในการออกแบบและผลิต*
ถุงเพาะชำกล้าไม้ มา 3 ตัวอย่าง

ความรู้/กระบวนการ	การนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต
ลักษณะของถุงเพาะชำกล้าไม้	ทำมาเป็นแนวทางในการศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มที่จะทำไปทำเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้
สมบัติของแผ่นฟิล์มพลาสติก	ทำมาใช้เป็นแนวทางในการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เหมาะสมในการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้
วิธีการขึ้นรูปถุงเพาะชำกล้าไม้	ทำมาใช้เป็นแนวทางในการผลิตถุงเพาะชำกล้าไม้ให้มีลักษณะและคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน

8. วาดรูปแบบร่างถุงเพาะชำกล้าไม้ พร้อมอธิบายรายละเอียด เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง



9. วาดรูปหรือเขียนแผนผังอธิบายขั้นตอนการทำถุงเพาะชำกล้าไม้ พร้อมระบุปริมาณสารเคมีที่ใช้



คำถามท้ายกิจกรรม

ถุงเพาะชำกล้าไม้ที่สร้างขึ้นมาสามารถนำไปใช้ปลูกกล้าไม้ได้จริงหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

สามารถใช้ได้จริง เนื่องจากเมื่อเราทำถุงเพาะชำกล้าไม้เสร็จแล้ว เราได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของมันแล้ว และนำถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ทำขึ้นไปทดสอบการใช้งานจริงกับต้นกล้า ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้ง หากมีข้อผิดพลาด เราก็ปรับปรุงแก้ไขถุงเพาะชำกล้าไม้ให้ดีขึ้น จนถุงเพาะชำกล้าไม้มีคุณสมบัติเหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง

ใบบันทึกกิจกรรม เรื่อง การพัฒนาสูตรถุงเพาะชำกล้าไม้จากพลาสติกชีวภาพ
(ตัวอย่างใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน)

เอกสารประกอบการทดลอง ม.2/3 กลุ่ม 5

แหล่งวัสดุธรรมชาติที่นักเรียนเลือกใช้ คือ ถั่วเหลือง

1. สมมติฐาน

ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองมีความยืดหยุ่นดีกว่าถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งสำปะหลัง

2. นิยามเชิงปฏิบัติการ

พลาสติกชีวภาพ หมายถึง พลาสติกที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

ความเหนียว หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักที่กระทำต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ใช้สังเกตได้จากถุงที่ฉีกขาดน้อยที่สุดจะมีความเหนียวมากที่สุด

ความแข็งแรง หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักที่กระทำต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ใช้สังเกตได้จากถุงที่ฉีกขาดน้อยที่สุดจะมีความแข็งแรงมากที่สุด

3. ตัวแปร

3.1 ตัวแปรต้น ชนิดของแป้ง

3.2 ตัวแปรตาม ความเหนียวของถุงเพาะชำกล้าไม้ (% การยืดตัว)

3.3 ตัวแปรควบคุม 1. ระยะเวลาในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ 5. ปริมาณกลีเซอรอล

2. ความชื้นในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ

3. ปริมาณน้ำในการทำแผ่นพลาสติกชีวภาพ

4. ปริมาณแป้งถั่วเหลืองและแป้งสำปะหลัง

4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลัง.
2. แป้งข้าวเหนียว.
3. น้ำ.
4. บีกเกอร์
5. แท่งแก้ว.
6. กลีเซอรอล.
7. เตาอบ.
8. กระดาษฟอยล์.
9. เตาแม่เหล็ก.
10. เครื่องชั่งดิจิตอล.
11. คลิปหนีบกระดาษ.
12. กระดาษทราย.

4.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การทำแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งถั่วเหลืองและแป้งมันสำปะหลัง

1. ผสม แป้งถั่วเหลือง น้ำ กลีเซอรอล ในปริมาณ 12 g : 90 ml : 6 ml ตามลำดับ ลงในบีกเกอร์และคนด้วยแท่งแก้ว
2. ทำแบบเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนจากแป้งถั่วเหลืองเป็นแป้งมันสำปะหลัง
3. นำของผสมที่อยู่ใน แต่ละบีกเกอร์มาเทใส่กระทะเทฟล่อน และให้ความร้อนในเตาแม่เหล็กไฟฟ้า
4. นำสารที่ได้มาเกลี่ยให้เป็นแผ่น แล้วอบในเตาอบ

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1 การม้วนและพับ

1.1 นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมขึ้นมาม้วนและพับ

1.2 เปรียบเทียบและบันทึกผลการทดลอง

1 ความยืดหยุ่น

2.1 นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมขึ้นมาตัดขนาด กว้าง 1 ซม. ยาว 5 ซม.

2.2 นำคลิปหนีบกระดาษที่มีกระดาษทรายรองอยู่นั้นหนีบที่แต่ละด้านของแผ่นฟิล์มด้านละ 1 ซม.

2.3 นำเครื่องชั่งแบบสปริง เกี่ยวกับด้านใดด้านหนึ่งของแผ่นฟิล์ม เพื่อวัดแรงดึง (นิวตัน)

2.4 ดึงแผ่นฟิล์มไดยึดกับคลิปหนีบกระดาษด้านที่ไม่ได้ เกี่ยวกับเครื่องชั่งแบบสปริงไว้ จนขาด

2.5 ทำการวัดแรงที่ทำให้แผ่นฟิล์มขาด และความยาวของแผ่นฟิล์มที่ยืดได้มากที่สุด ก่อนที่แผ่นฟิล์มจะขาด

4.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดสอบสมบัติ

การทดสอบสมบัติ	แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง			แผ่นฟิล์มจากแป้งถั่วเหลือง		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (N)	0.5 N.	0.3 N.	0.4	0.7 N.	0.5 N.	0.6
ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	30%	66%	48%	65%	35%	50%
ฉีกขาดหรือย่อยได้	✓	✓	ใช่ได้	✓	✓	ใช่ได้

ตารางที่ 2 การขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำกล้าไม้

รายการ	ชนิดของแป้ง	
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งถั่วเหลือง
ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้	มีสีขาว ผิวขรุขระ มีความยืดหยุ่น	สีน้ำตาลอ่อน ผิวสากเรียบ และความแข็งแรง
ความเหมาะสมในการใช้งาน	ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถนำไปใช้ได้ดีกว่า เช่น - มีขุยถุงเพาะเหมาะที่จะใส่กล้าไม้ - เมื่อนำไปใส่ดินแล้วถุงเพาะชำมีความแข็งแรงไม่ฉีกขาด	ถุงเพาะชำกล้าไม้พลาสติกชีวภาพจากแป้งถั่วเหลือง สามารถนำไปใช้ได้น้อย เช่น - มีขุยถุงเพาะเหมาะที่จะใส่กล้าไม้ - เมื่อใส่ดินแล้วไม่เกิดการฉีกขาด

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองในตารางที่ 1 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ 0.7 นิวตัน ที่ได้แผ่นฟิล์มจากแป้งถั่วเหลือง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%) ที่มากที่สุด คือ 66% ที่ได้จากแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแผ่นฟิล์มจากแป้งถั่วเหลือง และแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ทั้ง 2 ชนิด

แผ่นพลาสติกชีวภาพที่เหมาะที่จะนำมาทำถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลือง มีความแข็งแรงมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และแผ่นพลาสติกชีวภาพที่เหมาะที่จะนำมาทำถุงเพาะชำกล้าไม้ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง มีความยืดหยุ่นมากกว่าแป้งถั่วเหลือง เมื่อนำไปใส่ดินแล้วถุงเพาะชำกล้าไม้ไม่ฉีกขาดเหมือนแผ่นพลาสติกที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลือง

ในการนำไปใช้งานจริง แผ่นพลาสติกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าแผ่นพลาสติกที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลือง

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

วันให้คำยินยอม วันที่ …24…เดือน……กุมภาพันธ์….พ.ศ. …2559….

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยชื่อ นางนิตยา ภูผาบาง ถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม……ผู้ยินยอม

(……..……)

ระบุ อายุ.....ปี (กรณีอายุต่ำกว่า 18 ปีบริบูรณ์)

ลงนาม……พยาน

(……..……)

ลงนาม……ผู้ทำวิจัย

(……..……)

กรณีผู้ยินยอมอายุต่ำกว่า 18 ปีบริบูรณ์ ผู้ปกครอง (พยาน) ต้องแนบสำเนาบัตรประจำตัวประชาชน พร้อมรับรองสำเนา

ในกรณีที่ผู้ถูกทดลองอายุต่ำกว่า 18 ปีบริบูรณ์ จะต้องได้รับการยินยอมจากผู้ปกครองหรือผู้แทนโดยชอบด้วยกฎหมาย

ลงนาม……ผู้ปกครอง/ผู้แทน
โดยชอบด้วยกฎหมาย

(……..……)

ลงนาม……พยาน

(……..……)

ลงนาม……ผู้ทำวิจัย

(……..……)

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนชลกันยานุกูล
ที่..... **วันที่** ๒๕ มกราคม ๒๕๕๙
เรื่อง **ขออนุญาตดำเนินการวิจัยภายในโรงเรียน**

เรียน **ผู้อำนวยการโรงเรียนชลกันยานุกูล**

ด้วยข้าพเจ้า นางนิตยา ภูผาบาง ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อยู่ระหว่างการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และอยู่ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "*การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*" โดยมี ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ดร.สนธิ พลชัยยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ทั้งนี้ ข้าพเจ้าจึงเรียนมาเพื่อขอนุญาตดำเนินการวิจัยในโรงเรียนกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒/๓ ในรายวิชา ว ๒๒๒๐๒ วิทยาศาสตร์เพิ่มเติม(สนุกกับโครงงานวิทยาศาสตร์ ๒) ประจำภาคเรียนที่ ๒ ปีการศึกษา ๒๕๕๘

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ลงชื่อ.....
(นางนิตยา ภูผาบาง)
ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ภาคผนวก ช

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

หนังสือตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ดร.เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์ อาจารย์ประจำสาขาการสอนวิทยาศาสตร์ ภาควิชาการจัดการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและสะเต็มศึกษา

3. ดร.วันชัย น้อยวงค์ นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์การศึกษาภาคบังคับ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและสะเต็มศึกษา

4. นางสาวกิ่งกาญจน์ ภัทรพิศาล ตำแหน่ง ครูชำนาญการพิเศษ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนชลกันยานุกูล ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

5. นางสาวสุภาพ แป้นดี ตำแหน่ง ครูชำนาญการพิเศษ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนชลกันยานุกูล ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและสะเต็มศึกษา

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา โทร. ๓๐๘๕
ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/๒๕๗๗ วันที่ ๒๙ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์บุคลากรตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์ ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา โทร. ๓๐๘๕
ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/๒๕๗๕ วันที่ ๒๕ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(ดร.พอจิต นันทนาวัฒน์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการและบัณฑิตศึกษา ปฏิบัติการแทน
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/๑๓๕๘

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์บุคลากรตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๑๓๕๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ ๑๓๔๙

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์บุคลากรตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ ดร.วันชัย น้อยวงศ์ ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๑๓๕๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน ดร.วันชัย น้อยวงศ์

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

โรงเรียนชลกันยานุกูล จังหวัดชลบุรี
รับที่ ๒๑ / ๒๕๕๙
วันที่ ๑๑ ม.ค. ๒๕๕๙
เวลา ๐๙.๔๕ น.

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ ๑๓๖๐

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์บุคลากรตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนชลกันยานุกูล

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ นางสาวสุภาพ แป้นดี และนางสาวกิ่งกาญจน์ ภัทรพิศาล ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียน
☑ เพื่อโปรดทราบ
☐ เพื่อโปรดพิจารณา
☑ สมควรแจ้ง ดำเนินการ
ม.บูรพา ขอความอนุเคราะห์บุคลากรตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์
๑๑/ม.ค. ๒๕๕๙

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

☑ ทราบ
☐ ลงนามแล้ว
☑ เห็นชอบตามเสนอ
☐ อนุมัติ
☐ อื่นๆ

(นางกมนพรรธน์ ทิพยไกรศรโชติ)
ผู้อำนวยการโรงเรียนชลกันยานุกูล
๑๑ ม.ค. ๒๕๕๙

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

- เช่น คุณสุภาพ แป้นดี และคุณกิ่งกาญจน์ ภัทรพิศาล ผู้ขอความอนุเคราะห์

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๑๓๕๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๕ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน นางสาวกิ่งกาญจน์ ภัทรพิศาล

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๑๓๕๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๕ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

เรียน นางสาวสุภาพ แป้นดี

ด้วยนางนิตยา ภูผาบาง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีศึกษา หลักสูตรการศึกษาไม่เต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านตรวจสอบเครื่องมือวิทยานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัฐ ศรีสุข)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี งานบริการการศึกษา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕
โทรสาร ๐๓๘-๗๔๕๘๔๖

ที่ ศธ 0520.107/พิเศษ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ถนนบรมราชชนนี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

17 มิถุนายน 2559

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัย

เรียน นางนิตยา ภูผาบาง

ตามที่ท่านได้สมัครนำเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 ในวันที่ 11-12 กรกฎาคม 2559 ณ ศูนย์สันสกฤตศึกษา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ นั้น บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนให้ทราบว่าผลงานวิจัยของท่านได้รับการคัดเลือกให้นำเสนอด้วยโปสเตอร์ และจะได้รับการจัดทำในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceeding) พร้อมทั้งได้รับใบประกาศนียบัตรรับรองการนำเสนอผลงานในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยในวันและเวลาดังกล่าวด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2849-7502-3

ปณิธานของบัณฑิตวิทยาลัย ***"มุ่งส่งเสริม สนับสนุน เพื่อพัฒนาคุณภาพบัณฑิตศึกษา"***