การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

มนัส ชวดดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มนัส ชวดดา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์)

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ดร.ภิรมย์ เชนประโคน)

.....กรรมการ
(ดร.ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์)

.....กรรมการ
(ดร.สนธิ พลชัยยา)

.....กรรมการ
(ดร.กรประภา กาญจนะ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 30 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2560

การวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษาจาก
ทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.)
จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์ 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 นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้อำนวยการตาคลีประชาสรรค์ ตลอดจนเพื่อนครูและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ จึงทำให้การทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

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

เนื่องจากงานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบผลสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

มนัส ชวดดา

56920136: สาขาวิชา: เคมีศึกษา; วท.ม. (เคมีศึกษา)
คำสำคัญ: ออกซิเจนละลายในน้ำ/สะเต็มศึกษา/กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

มนัส ชวดดา: การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา (THE STUDY OF ENGINEERING DESIGN PROCESS OF GRADE 9th STUDENTS ON DISSOLVED OXYGEN AFTER CONDUCTING A STEM EDUCATION ACTIVITY) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, Ph.D., สนธิ พลชัยยา, Ph.D. 219 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามและประเมินประสิทธิภาพโดยเทียบกับวิธีมาตรฐาน (2) ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา และ (3) ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 146 คนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน โดยได้จากอาสาสมัคร

ผลการวิจัยพบว่า (1) ชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามที่เตรียมขึ้นกับวิธีมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% (2) จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่ากิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาที่ออกแบบขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษาและมีกระบวนการที่เป็นไปตามรูปแบบของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60-1.00 (3) นักเรียนที่ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผลการประเมินในภาพรวมทั้ง 5 ขั้นอยู่ในระดับดีมาก

56920136: MAJOR: CHEMICAL EDUCATION; M.Sc. (CHEMICALEDUCATION)
KEYWORDS: DISSOLVED OXYGEN/ STEM EDUCATION/ ENGINEERING DESIGN PROCESS

MANAS CHUADDA: THE STUDY OF ENGINEERING DESIGN PROCESS OF GRADE **9th** STUDENTS ON DISSOLVED OXYGEN AFTER CONDUCTING A STEM EDUCATION ACTIVITY. ADVISORY COMMITTEE: SIRIRAT CHANVAIVIT, Ph.D., SONTHI PHONCHAIYA, Ph.D. 219 P. 2017.

The objectives of this research were: (1) to prepare dissolved oxygen test kit, which was used by students . The test kit was evaluated by compared to the standard methods, (2) to design learning activities by survey water quality from different sources in school using dissolved oxygen test kit. in combination with STEM learning model, which was used for scientific camp for students in Mathayom 3, and (3) to evaluate the engineering design process study groups . Fifty volunteers were randomly selected from 146 Mathayom 3 students in, Takli Prachasan School, Nakhonsawan Province during the first semester of 2015.

The results were as follows. (1) There were no significant differences between the dissolved oxygen test kit and the standard methods. (2) the activities specifically designed for the field followed the STEM model and the engineering design process. The results of which the IOC is between 0.60 to 1.00. (3) The Results showed that engineering design process increased for their overall performance.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

สารบัญตาราง ..... จ

สารบัญภาพ ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

สมมติฐานการวิจัย 3

กรอบแนวคิดการวิจัย 4

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 6

ขอบเขตการวิจัย 6

นิยามศัพท์เฉพาะ 8

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 9

สะเต็มศึกษา 16

วิศวกรรมศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา 23

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

3 วิธีดำเนินการวิจัย 33

การเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม 33

การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ 38

การนำกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 39
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 39
การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 39
วิธีดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล 43
การวิเคราะห์ข้อมูล 43

4 ผลการวิจัย 46
ผลการเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายสำหรับใช้ในภาคสนาม 46
ผลการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ 52
ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 57

5 อภิปรายผลและสรุปผล 81
สรุปผลการวิจัย 82
อภิปรายผลการวิจัย 83
ข้อเสนอแนะ 88

บรรณานุกรม 90
ภาคผนวก 94
ภาคผนวก ก 95
ภาคผนวก ข 99
ภาคผนวก ค 170
ภาคผนวก ง 178
ภาคผนวก จ 190
ภาคผนวก ฉ 207
ภาคผนวก ช 212
ประวัติย่อของผู้วิจัย 219

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงค่า DO ในน้ำที่ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น	10
2-2	แสดงการละลายของออกซิเจนในน้ำภายใต้สภาวะต่าง ๆ	11
2-3	ขั้นตอนการหาดีโอในขวดบีโอดี	13
2-4	สรุปตัวบ่งชี้คุณภาพ ความหมาย และวิธีการในการสร้างความน่าเชื่อถืองานวิจัยเชิงคุณภาพ	25
4-1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์	46
4-2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียนโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001250 N,0.001125 N และ 0.001000 N ตามลำดับ	47
4-3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำสระน้ำโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001250, 0.001125 และ0.001000 N ตามลำดับ	47
4-4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำประปามหาวิทยาลัยบูรพาโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001125 N	48
4-5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำสระน้ำมหาวิทยาลัยบูรพาโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001125 N	49
4-6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำประปาโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001125 N	50
4-7	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำบริเวณสระน้ำโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.001125 N	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-8 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 52

4-9 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 53

4-10 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม(EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 54

4-11 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญ จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ ไม่ใช้พลาสติก 55

4-12 ผลการสังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้าน ของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม จากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 56

4-13 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้าน ของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากงานที่ได้รับมอบหมายกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก 66

4-14 ผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 55

4-15 ผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ ไม่ใช้พลาสติก..... 55

ก-1 ตารางบันทึกผลการวัดค่า DO ด้วยวิธีมาตรฐาน จากตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียน น้ำบริเวณสระน้ำหลังห้องสมุด น้ำบริเวณท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู 87

ก-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจากตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียนระหว่าง วิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125 N,0.001125 N และ 0.001 N ตามลำดับ..... 88

ก-3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำสระน้ำโดย เปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125 N,0.001125 N และ 0.001 N ตามลำดับ 89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ง-1 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 169

ง-2 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 170

ง-3 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 173

ง-4 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 176

จ-1 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 181

จ-2 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 184

จ-3 แสดงคะแนนประเมินใบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 186

จ-4 แสดงคะแนนประเมินชิ้นงานและการนำเสนอด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 187

จ-5 ผลการประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์จากงานที่ได้รับมอบหมายกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก 188

จ-6 ผลการประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์จากงานที่ได้รับมอบหมายกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก 192

จ-7 แสดงคะแนนประเมินใบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมกิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 194

จ-8 แสดงคะแนนประเมินชิ้นงานและการนำเสนอด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมกิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 195

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 กรอบแนวคิดในการพัฒนาชุดตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ 5

1-2 กรอบแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา..... 6

4-1 การเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขของกลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 57

4-2 การเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขกลุ่มที่ 7 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 58

4-3 การเลือกแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนของกลุ่มที่ 2 กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 59

4-4 การเลือกแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนของกลุ่มที่ 3 กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 59

4-5 การเขียนความรู้หรือกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2
กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 60

4-6 การเขียนแนวทางที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 61

4-7 การเขียนภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์
ฝาวิกฤตน้ำเสีย 62

4-8 สิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของกลุ่มที่ 2สร้างขึ้น กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 62

4-9 การเขียนภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 3 กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 63

4-10สิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของกลุ่มที่ 3สร้างขึ้น กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 63

4-11การเขียนปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม
สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 64

4-12การสาธิตการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย..... 65

4-13การเขียนปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดให้ของกลุ่มที่ 2 กิจกรรม
จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 67

4-14การเขียนปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดให้ กลุ่มที่ 1 กิจกรรม
จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-15การเขียนความรู้หรือกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ ไม่ใช้พลาสติก..... 70

4-16ภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 72

4-17แสดงการสาธิตการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก..... 74

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการศึกษาของประเทศไทยมีการจัดชั่วโมงเรียนให้กับเด็กนักเรียนไทยมากกว่านักเรียนประเทศ อื่น ๆ ทำให้นักเรียนจะใช้เวลาอยู่ในห้องเรียนมากกว่านักเรียนส่วนใหญ่ในประเทศอื่น โดยค่าเฉลี่ยจำนวนชั่วโมงที่เรียนในโรงเรียนของระดับประถมศึกษาเท่ากับ 1000 ชั่วโมง ส่วนระดับมัธยมศึกษาเท่ากับ 1200 ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นอันดับที่ 2 ของโลก (สรวงมณฑ์ สิทธิสมาน, 2557) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยพบว่าแม้นักเรียนไทยจะมีจำนวนชั่วโมงเรียนมากกว่าประเทศอื่นแต่นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่เรียนเข้ากับชีวิตประจำวันได้รวมทั้งไม่สามารถนำความรู้ที่ได้จากห้องเรียนไปใช้ในการแก้ปัญหาหรืออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัวได้ (ปริศนา เพชระบูรณิน, 2555) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความรู้ที่เน้นทักษะด้านการคิดวิเคราะห์เทียบกับนานาชาติ เช่น การสอบ PISA 2015 ที่เน้นการประเมินวิชาวิทยาศาสตร์ผลปรากฏว่าแนวโน้มคะแนนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญและคะแนนลงลงจนเท่ากับการประเมินรอบ PISA 2006 ที่วิทยาศาสตร์เป็นวิชาหลัก (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ทั้งนี้ในการประเมินการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของ PISA นั้นได้ให้ความสำคัญกับวิทยาศาสตร์ที่นำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงรวมทั้งความรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เช่น ความตระหนักถึงประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม ความกังวลต่อสิ่งแวดล้อม (สุนีย์ คล้ายนิล, ปรีชาญ เดชศรี และอัมพลิกา ประโมจนีย์, 2551 หน้า 85, 118)

การปฏิรูปการศึกษาเพื่อให้นักเรียนเป็นคนไทย 4.0 จะต้องเป็นการเรียนรู้อย่างมีเป้าหมายและเป็นการใช้ความรู้สร้างนวัตกรรม ต้องให้เด็กมีการศึกษาความคิดมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ นอกห้องเรียน(สุวิทย์ เมษินทรีย์, 2559) ซึ่งการจัดการเรียนรู้วิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ทักษะกระบวนการ และสมรรถนะต่าง ๆ นั้นผู้เรียนควรได้ลงมือปฏิบัติจริง และฝึกแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง โดยต้องมีการบูรณาการสาขาวิชาต่าง ๆ ร่วมกันเพื่อให้ผู้เรียนมีทักษะการเรียนรู้ตามศตวรรษที่ 21 ทำให้สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนำวิธีการสอนแบบสะเต็มศึกษา (Science, Technology, Engineering and Mathematics Education : STEM Education) มาเป็นแนวทางในการจัดการศึกษาโดยบูรณาการ 4 สาขาวิชาเข้าด้วยกัน คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ช่วยสร้างเสริมประสบการณ์ ทักษะชีวิต ความคิดสร้างสรรค์

เป็นการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความรู้และทักษะด้านต่าง ๆ ผ่านการทำกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะทางด้านต่าง ๆ และสอดคล้องกับทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (กวิน เชื่อมกลาง, 2556; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558)

ทั้งนี้โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์เป็นโรงเรียนที่มีการสอนในรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 นักเรียนจะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ในเรื่องคุณภาพของน้ำ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการวิเคราะห์น้ำจะช่วยให้นักเรียนได้ทราบถึงสถานการณ์น้ำในท้องถิ่นของตนและตระหนักถึงการอนุรักษ์ร่วมกันในท้องถิ่น ทั้งนี้ปัญหาคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการที่แหล่งน้ำขาดออกซิเจน ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยค่า DO สามารถบ่งบอกว่าแหล่งน้ำมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำอยู่ในระดับใด (กระทรวงสาธารณสุข,2537) น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมีค่า DO มากกว่า 3 ppm แต่ถ้าต่ำกว่า 3 ppm จัดเป็นน้ำเสีย (มนนภา เทพสุด, 2548) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่ วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane electrode method) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายแต่มีราคาแพง และวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide Modification of Iodometric Method) ซึ่งใช้วิธีไทเทรตในห้องปฏิบัติการ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในภาคสนาม (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศน์, 2551) เนื่องจากต้องใช้บิวเรตแก้วที่มีราคาค่อนข้างแพง จึงต้องมีการเตรียมชุดตรวจวัดให้มีสเกลที่เล็กลงและใช้อุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่นจะช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ในการจัดการเรียนการสอนนอกห้องเรียนได้ นอกจากนี้การใช้สารเคมีในปริมาณน้อยเป็นการประหยัดและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่ใช้ในภาคสนามขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนและประยุกต์ใช้กับการจัดค่ายวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 รายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาและการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาโดยใช้แนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ผู้เรียนฝึกการวางแผนและทำงานอย่างเป็นระบบมากกว่าการลองผิดลองถูก และจากการสำรวจสภาพแหล่งน้ำบริเวณต่าง ๆ ภายในโรงเรียนทำให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ และทักษะต่าง ๆ ในกิจกรรมนอกห้องเรียนที่จัดขึ้น และให้ผู้เรียนได้นำความรู้มาออกแบบชิ้นงาน มาใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามและประเมินประสิทธิภาพโดยเทียบกับวิธีมาตรฐาน

2. เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

3. เพื่อศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

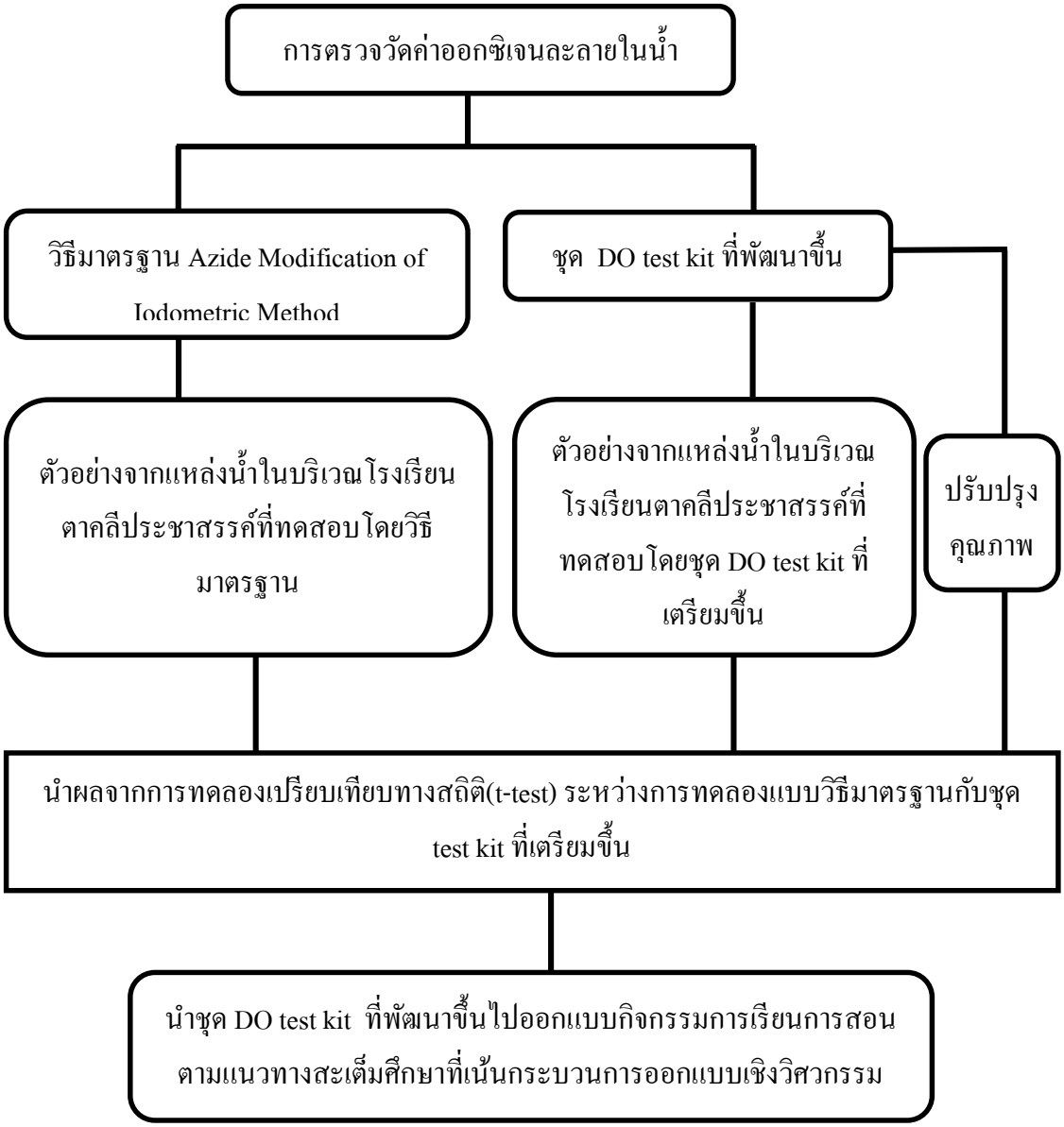
สมมติฐานของการวิจัย

1. ชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนามที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐาน

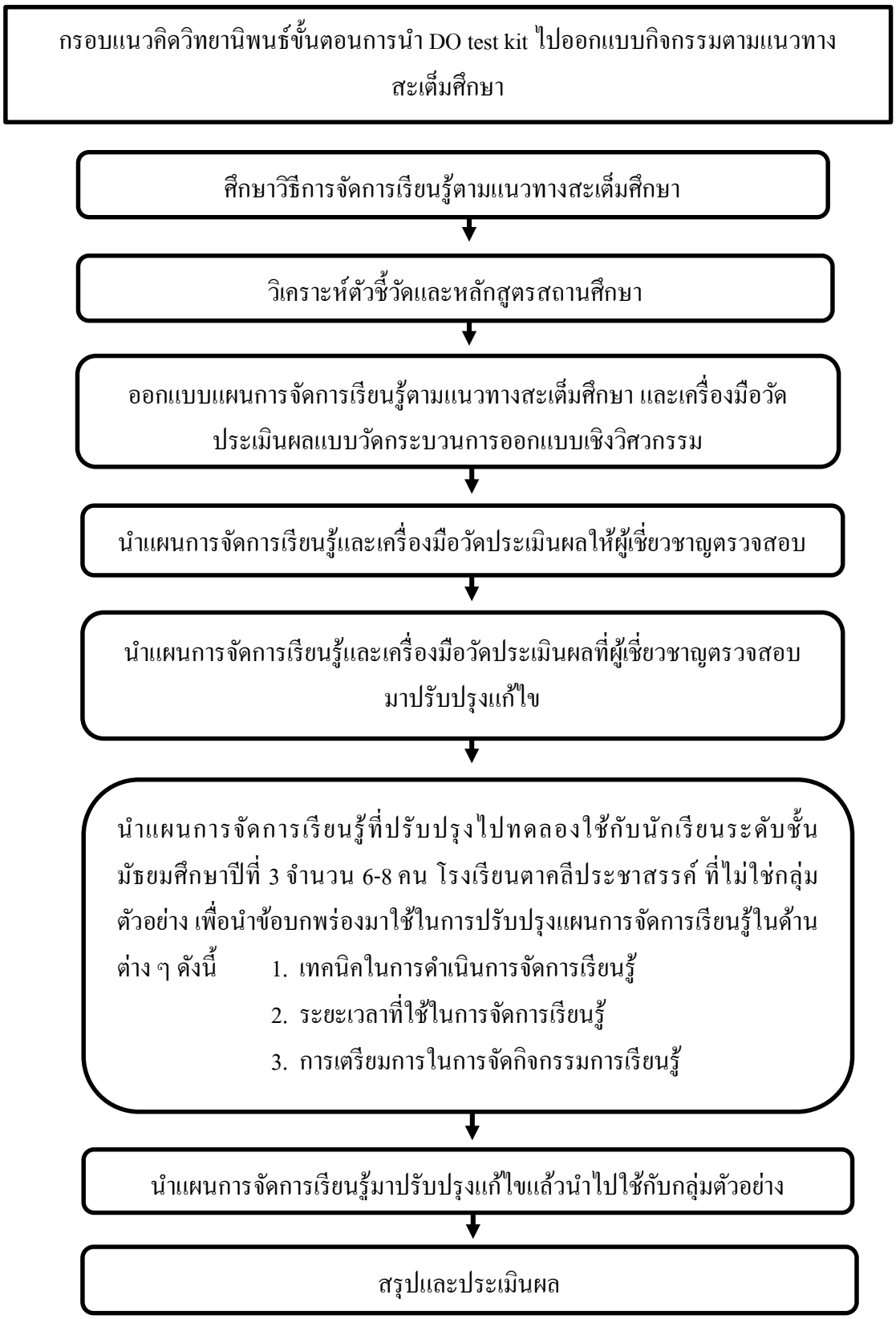
2. สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาได้

3. ผู้เรียนมากกว่าร้อยละ 80 สามารถนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ที่มีการใช้ชุดพัฒนาการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนามตามแนวทางสะเต็มศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการพัฒนาชุดตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ



ภาพที่ 1-2 กรอบแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำชุดพัฒนาการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนามที่เตรียมขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลายจากแหล่งน้ำในโรงเรียนได้

2. ได้ชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนามที่นำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

3. ได้แนวทางในการนำชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ให้นักเรียนเรียนรู้กิจกรรมผ่านค่ายวิทยาศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

1. ชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นใช้การลดอัตราส่วนจากวิธี Azide Modification of Iodometric Method

2. ตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดสอบเก็บจากน้ำประปาและแหล่งน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ และแหล่งน้ำจากมหาวิทยาลัยบูรพา

ตอนที่ 2 การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

1. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่เนื้อหาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาตามหลักสูตรสถานศึกษาพุทธศักราช 2551 ของโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2. สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่

2.2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

2.2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนจากงานที่ได้รับมอบหมาย

2.2.3 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview)

3. หาคุณภาพเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย

3.1 เครื่องมือประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษาจากแผนจัดกิจกรรมประกอบด้วย

3.1.1 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ

3.1.2 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ

3.2 เครื่องมือประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)*ประกอบด้วย

3.2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญ

3.2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก โดยผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 การนำกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 42 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 146 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 42 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 50 คน โดยการอาสาสมัคร เนื่องจากเป็นรูปแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ดังนั้นจึงเลือกนักเรียนที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเท่านั้น

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 ตัวแปรอิสระ คือ กิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

2.2 ตัวแปรตาม คือ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ใช้เวลาทดลองในการจัดค่าย รวมเวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดการเรียนรู้และเก็บรวบรวมข้อมูล

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. DO Test kit

ในที่นี้หมายถึงชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ลดอัตราส่วนจากวิธีAzide Modification of Iodometric Method โดยใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและไม่แตกง่าย สามารถวิเคราะห์และรายงานค่าได้ทันทีโดยมีผลการวิเคราะห์ไม่ต่างจากวิธีมาตรฐาน

2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

เป็นการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์โดยเป็นการบูรณาการการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความรู้และทักษะด้านต่าง ๆ ผ่านการทำกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะทางด้านต่าง ๆ ในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนสามารถนำไปแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ เช่นให้นักเรียนเชื่อมโยงนำความรู้ที่ได้ในชั้นเรียนมาออกแบบนวัตกรรมต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ และนอกจากนี้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมที่ช่วยเสริมสร้างเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์

3. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือ Engineering Design Process (EDP) อ้างอิงจากเอกสารการประชุม International Technology Education Association. (2005). Invention: the invention crusade (Page 5) ประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุปัญหา (identify a challenge) การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (explore ideas) การวางแผนและพัฒนา (plan and develop) การทดสอบและประเมินผล (test and evaluate) การนำเสนอผลลัพธ์ (present the solution) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้สะเต็มประชารัฐได้เปลี่ยนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจาก 5 ขั้นตอนเป็น 6 ขั้นตอนแล้ว โดยแบ่งเป็น 1) ระบุปัญหาที่พบ 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหา (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558)

4. การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง

แบบสัมภาษณ์ที่สร้างคำถามขึ้นจากประเด็นที่ต้องการคำตอบ และผู้สัมภาษณ์มีคำถามเสริมจากประเด็นหลัก เพื่อให้ผู้สัมภาษณ์ได้คำตอบเชิงลึกมากขึ้น

5. พหุปัญญา

ความสามารถที่แสดงออกในการคิดแก้ปัญหา ออกแบบ และสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือสิ่งประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดให้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

น้ำมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยมนุษย์เรานำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการอุปโภคบริโภค และการประกอบอาชีพอื่น ๆ ทั้งด้านการเกษตร การประมง การอุตสาหกรรม และการคมนาคม รวมทั้งการพักผ่อนหย่อนใจ ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาคุณภาพน้ำไว้เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีและรักษาภาวะสมดุลของระบบนิเวศในธรรมชาติ (มนนภา เทพสุด, 2548)

แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นแก๊สที่ละลายน้ำและไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ แต่จะแพร่กระจายและละลายในน้ำเรียกว่า แก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือ Dissolved Oxygen (DO) หรือ เรียกว่า “ดีโอ” (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2555)

พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญานุสรณ์ (2553) ได้ให้ความหมายของปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO) ไว้ว่า DO คือปริมาณ O_2 ที่ละลายในน้ำและค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ เช่น แบคทีเรียในน้ำต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen) จะต้องวัดในรูปของค่าดีโอ (DO) มีหน่วยเป็น ppm โดยค่า DO จะแปรผันตามปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ถ้าน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่มากจะให้ค่า DO สูงจัดเป็นน้ำคุณภาพดี ส่วนน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่น้อยจะให้ค่า DO ต่ำ จัดเป็นน้ำเสีย โดยปกติแล้วแก๊สออกซิเจนมีคุณสมบัติละลายในน้ำได้น้อยมาก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 10 ppm โดยในน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีจะมีค่า DO มากกว่า 3 ppm แต่ถ้าน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีค่า DO อย่างต่ำ 5 ppm และถ้าหากบริเวณใดไม่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนละลายอยู่เลยจะมีค่า DO เป็นศูนย์ ก็จะส่งผลให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในน้ำนั้นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และแก๊สออกซิเจนมีความสามารถในการละลายน้ำในแต่ละสภาวะไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าการละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำเปลี่ยนแปลงได้เมื่ออุณหภูมิหรือความดันของน้ำเปลี่ยนแปลงไป (มนนภา เทพสุด, 2548)

1. ความสำคัญของ DO

1.1 DO ในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นโดย aerobic หรือ anaerobic organism พวก aerobic organism จะใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย แต่ anaerobic organism จะทำให้เกิดออกซิเดชันโดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัวเช่น SO_4^{2-} เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นการหาค่า DO จึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะรักษา aerobic condition ในน้ำธรรมชาติที่จะรับเอาสิ่งสกปรกจากที่ต่าง ๆ

1.2 ค่า DO มีความสำคัญในการรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์อื่น คือให้มี DO ในปริมาณพอเหมาะ เช่นไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

1.3 ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เพื่อหากำลังความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชันทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

1.4 ค่า DO เป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และในหม้อต้มน้ำไม่ควรมีค่า DO เลย

1.5 ค่า DO ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยา aerobic treatment process เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะ aerobic ไว้ได้ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2549)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำคือ

2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่า DO ถ้าอุณหภูมิสูง ปริมาณออกซิเจนจะลายได้น้อย (พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญา นุสรณ์, 2553)

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ คณิตา ตังคณานุรักษ์ (2555) ได้กล่าวว่าการละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายของแก๊สออกซิเจนจะลดลง ทำให้ค่าการละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงค่า DO ในน้ำที่ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

อุณหภูมิ (°C)	**0**	**10**	**20**	**30**
DO (ppm)	14.6	11.3	9.1	7.6

จากตารางที่ 2-1 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมีค่า DO สูง แสดงว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนจะละลายน้ำได้มาก ส่วนที่อุณหภูมิสูงน้ำมีค่า DO ต่ำ แสดงว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนละลายน้ำได้น้อย (มนนภา เทพสุด, 2548)

2.2 ปริมาณสารละลายในน้ำ หรือความปนเปื้อนของน้ำ จะแปรผกผันกับค่า DO ถ้ามีสารละลายในน้ำอยู่มาก ออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย(พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญา นุสรณ์, 2553)

2.3 ความดันบรรยากาศ การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำ มีลักษณะแปรผกผันตรงกับค่าความดันบรรยากาศ โดยที่ระดับน้ำลึก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะน้อยกว่าที่ระดับน้ำตื้น (พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญา นุสรณ์, 2553)

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์ (2555) ได้กล่าวว่า เมื่ออากาศสัมผัสกับผิวหน้าน้ำ (กำหนดปริมาณของน้ำหนึ่งหน่วย) แก๊สออกซิเจนจะถูกดูดกลืนตรงบริเวณผิวน้ำ จนกระทั่งความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนในน้ำอิ่มตัวด้วยอากาศเท่ากับความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนในอากาศอิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดสภาวะสมดุลขึ้น ณ จุดนี้เรียกได้ว่า น้ำอิ่มตัวด้วยออกซิเจน

เมื่อความดันอากาศเหนือน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแก๊สออกซิเจนก็จะละลายได้มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามกฎการละลายของเฮนรี่ (การละลายได้ของแก๊สจะแปรตรงกับความดันย่อยของแก๊สนั้นที่อยู่เหนือของเหลว ณ อุณหภูมิคงที่)

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าทั้งอุณหภูมิ ความดัน และปริมาณคลอไรด์ ก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำการละลายของออกซิเจนในน้ำภายใต้สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงการละลายของออกซิเจนในน้ำภายใต้สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิ °C	ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	Chlorinity: 0	5	15	25
0	14.621	13.728	12.097	10.657
5	12.770	12.024	10.656	9.441
10	11.288	10.656	9.493	8.454
15	10.084	9.541	8.540	7.642
20	9.092	8.621	7.749	6.964

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

อุณหภูมิ °C	ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	Chlorinity: 0	5	15	25
25	8.263	7.850	7.083	6.390
30	7.559	7.194	6.513	5.896
35	6.950	6.624	6.017	5.464
40	6.412	6.121	5.576	5.078

ที่มา กระทรวงสาธารณสุข, 2537

3. กระบวนการที่มีผลต่อปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ

กระบวนการที่มีผลต่อปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ ประกอบด้วย 4 กระบวนการดังนี้

3.1 กระบวนการเติมอากาศลงในน้ำ (reaeration) เป็นกระบวนการเติมแก๊สออกซิเจนจากอากาศผ่านผิวน้ำเมื่อปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยกว่าการละลายอิ่มตัวของแก๊สออกซิเจน

3.2 กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำรวมทั้งแพลงก์ตอนพืช เป็นกระบวนการเพิ่ม DO ในน้ำ

3.3 กระบวนการหายใจของพืชน้ำและสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นการใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำ กระบวนการเติมอากาศลงในน้ำ การสังเคราะห์แสง และการหายใจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ

3.4 กระบวนการย่อยสลายของของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (organic wastes) ซึ่งมีอยู่หลายปฏิกิริยาได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ในที่นี้จะกล่าวถึงปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากเป็นการใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำ

สารอินทรีย์ร้อยละ 70 ที่พบในน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนและชุมชนได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจก่อให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจน ทำให้แก๊สออกซิเจนละลายในน้ำไม่เพียงพอ เกิดสภาวะขาดแก๊สออกซิเจน

สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียย่อยสลายดังนี้

ก) การย่อยสลายอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียแอโรบิก (aerobic bacteria decomposition) ใช้ออกซิเจนในน้ำในการย่อยสลายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊ส CO_2 น้ำ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และไนเตรตไอออน (NO_3^-) เป็นต้น

ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะถูกใช้ไปเรื่อย ๆ ถ้าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีมากจนกระทั่งมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าอัตราการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงในน้ำ มีผลทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงหรืออาจจะหมดไปในที่สุด ทำให้สัตว์น้ำตายลงได้

ข) การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียแอนาโรบิก (anaerobic bacteria decomposition) ใช้ออกซิเจนจากซัลเฟตและไนเตรตไอออน จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้ำ แก๊สไนโตรเจน (N_2) และแก๊ส CO_2 เป็นต้น (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2555)

4. การวัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือการวิเคราะห์ค่า DO

การวิเคราะห์ค่าดีโอสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ได้แก่ การไทเทรตในห้องปฏิบัติการ และการวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO meter) (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2555)

พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญา นุสรณ์ (2553) ได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมีซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมมากได้แก่ Azide Modification of Iodometric Method และ Membrane electrode method หรือใช้เครื่องมือที่เรียกว่า DO meter ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้โดยถือหลักอัตราการแพร่ของโมเลกุลออกซิเจนผ่านเยื่อ (membrane) ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับออกซิเจน

วิธีการไทเทรตหาปริมาณดีโอนั้นจะใช้วิธีวิงค์เลอร์ Winkler titration หรือ iodometric titration) และวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide Modification of Iodometric Method)

1. วิธีวิงค์เลอร์ เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้ตรวจวัดค่าดีโอของน้ำ สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไอโอไดด์(NaI) แมงกานีส(II)ซัลเฟต ($MnSO_4$) โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) โพแทสเซียมไอโอเดต์ (KIO_3) และน้ำแป้ง

ตารางที่ 2-3 ขั้นตอนการหาดีโอในขวดบีโอดี (น้ำตัวอย่างบรรจุเต็มในขวดบีโอดีขนาด 300 ml)

ขั้นตอน	การเปลี่ยนแปลง
1. เติมสารละลาย $MnSO_4$ 1 ml และสารละลาย KI ในสารละลาย NaOH 1 ml โดยเติมใต้ผิวน้ำตัวอย่าง ปิดจุกขวดแล้ว คว่ำ-หงายขวดบีโอดีหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สัมผัสกับสารกันทั่วทั้งขวดเป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาที	เกิดตะกอนขุ่นขาวแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนสีน้ำตาลดำ ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาตรน้ำใสครึ่งหนึ่งของขวด
2. เติม H_2SO_4 เข้มข้น 1 ml โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลไปข้าง ๆ คอขวด ปิดจุก ผสมให้เข้ากันโดยการเขย่าคว่ำ-หงาย	ตะกอนสีน้ำตาลดำละลายหมดได้สารละลายสีน้ำตาลอ่อน
3. นำสารละลายในขั้นที่ 2 มา 201 ml (ปริมาตร 201 ml คิดมาจาก 300(200)/298 =201) ไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน แล้วหยดน้ำแป้ง 2-3 หยด	ได้สารละลายสีน้ำเงิน
4. ไทเทรตสารละลายในขั้นที่ 3 ด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ต่อไป	สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ณ จุดยุติ จดปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้

1. ขั้นตอนที่ 1 และ 2 เป็นกระบวนการตรึงแก๊สออกซิเจน ทำได้ในภาคสนามและนำกลับมาไทเทรตในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ในห้องปฏิบัติการ

2. ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเติมสารละลาย 2 ml แล้วทำให้เกิดตะกอน น้ำตัวอย่างจึงถูกแทนที่ไป 2 ml ปริมาตรน้ำตัวอย่างหลังถูกตรึงออกซิเจนจะเหลือ 298 ml แต่ต้องการน้ำตัวอย่างเพียง 200 ml มาไทเทรตจึงต้องนำน้ำตัวอย่างที่ตรึงออกซิเจนจากขวดบีโอดีที่มี ปริมาตร 298 ml มา 201 ml ลงในขวดรูปกรวย แล้วดำเนินการไทเทรตตามขั้นตอนที่ 3 และ 4

3. ถ้าเติมสารละลาย $MnSO_4$ สารละลาย KI ใน NaOH และ H_2SO_4 ลงไปในน้ำตัวอย่าง แล้วไม่ได้สารละลายสีเหลืองเกิดขึ้น แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจน จึงไม่ต้องนำไปไทเทรต ด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำที่มีการใช้ยาฆ่าแมลงในปริมาณมาก อาจจะไม่พบออกซิเจน

4. น้ำตัวอย่างจากบริเวณโรงงานแป้งมัน หรือโรงงานที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ เมื่อนำมาหาปริมาณออกซิเจนในขั้นที่เติม H_2SO_4 เข้มข้นลงไปแล้วเกิดไอโอดีน (I_2) ขึ้น สารละลายจะมีสีน้ำเงิน เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีน้ำแป้งอยู่แล้ว จึงไม่ต้องเติมน้ำแป้งลงไปอีก

การเปลี่ยนแปลงของสารแต่ละขั้นตอน สามารถอธิบายโดยใช้สมการเคมีแสดงการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อเติมสารละลาย $MnSO_4$ และสารละลาย KI ใน NaOH ลงไปในน้ำตัวอย่างจะเกิดตะกอนสีขาวของ $Mn(OH)_2$ (Manganese(II) hydroxide) ซึ่งจะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในน้ำเกิดตะกอนสีน้ำตาลดำของ MnO_2 (Manganese(IV) oxide) ดังปฏิกิริยา

$$Mn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \longrightarrow Mn(OH)_2(s)$$

$$2Mn(OH)_2(s) + O_2(aq) \longrightarrow 2MnO_2(s) + 2H_2O(l)$$

2. เมื่อเติม H_2SO_4 เข้มข้นลงไป เพื่อเปลี่ยนสภาวะจากเบสเป็นกรด ภายใต้สภาวะกรด MnO_2 จะไปออกซิไดส์ ไอโอไดด์ (I^-) ให้เป็นไอโอดีน (I_2) ดังปฏิกิริยา

$$MnO_2(s) + 2I^-(aq) + 4H^+(aq) \longrightarrow Mn^{2+}(aq) + I_2(aq) + 2H_2O(l)$$

ไอโอดีน (I_2) ละลายน้ำได้ไม่ดีจึงสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนไตรไอโอเดตไอออน (I^-_3) ดังปฏิกิริยา

$$I_2(aq) + I^-(aq) \longleftrightarrow I^-_3(aq)$$

เป็นการป้องกันไม่ให้ I_2 สูญเสียไปในอากาศ (I_2 เกิดการระเหิดได้) ดังนั้นในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2 นี้จึงต้องปิดจุกขวดให้สนิทและเขย่าคว่ำ-หงายอย่างน้อย 10 วินาที เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั่วทั้งขวดและไอโอดีนมีความเข้มข้นเท่ากันทั้งหมด

3. ไอโอดีนที่เกิดขึ้นถูกไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ มีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติ I_2 ถูกเปลี่ยนเป็น I^- ทำให้สีน้ำเงินที่เกิดจากน้ำแป้งเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

$$I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \longrightarrow 2I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$$

ข้อควรรู้ ตะกอนสีน้ำตาลดำ MnO_2 อาจเขียนในรูป $MnO(OH)_2$ สรุปปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

$$2Mn^{2+}(aq) + 4OH^-(aq) \longrightarrow 2Mn(OH)_2(s)$$

$$2Mn(OH)_2(s) + O_2(aq) \longrightarrow 2[MnO(OH)_2](s)$$

$$2[MnO(OH)_2](s) + 4I^-(aq) + 8H^+(aq) \longrightarrow 2I_2(aq) + 2Mn^{2+}(aq)$$

$$2I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \longrightarrow 4I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$$

จากปริมาณสัมพันธ์ จะได้ว่า 1 โมล O_2 จะพอดีกับ 4 โมล $Na_2S_2O_3$

การคำนวณค่าดีโอของน้ำตัวอย่างใช้สูตรดังนี้ (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2555)

$$DO(mg/l) = \frac{8000\ M_T V_T}{V}$$

M_T = ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ (mol/dm^3)ที่ใช้

V_T = ปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ (ml) ณ จุดยุติ

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

ข้อจำกัดของวิงค์เลอร์นี้คือ

1. ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีตัวออกซิไดส์ เช่น ไนไตรต์ไอออน (NO^-_2) หรือ Fe^{3+} ไอออน ซึ่งจะไปออกซิไดส์ไอโอไดด์ (I^-) เป็นไอโอดีน (I_2) มีผลทำให้ค่าดีโอที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง

2. ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีตัวรีดิวซ์ เช่น Fe^{2+} หรือซัลไฟต์ไอออน (SO^{2-}_3) ซึ่งจะไปรีดิวซ์ไอโอดีน (I_2) เป็นไอโอไดด์ไอออน (I^-) มีผลทำให้ค่าดีโอที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง

2. วิธีเอไซด์แบบปรับปรุง ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของวิงเลอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

NO_2^- ไอออนมีผลต่อการหาค่าดีโอในน้ำ ซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ และได้จากการบ่มน้ำตัวอย่างเพื่อหาค่าบีโอดีที่ 20 ºC เป็นเวลา 5 วัน NO_2^- ที่เกิดขึ้นจะไม่ออกซิไดส์ Mn^{2+} ไอออน แต่จะออกซิไดส์ I^- เป็น I_2 ในสภาวะกรด และได้ตัวรีดิวซ์ N_2O_2 เป็นผลิตภัณฑ์ด้วยซึ่งจะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในน้ำ เปลี่ยนกลับมาเป็น NO^-_2 อีกทำให้จุดยุติเกิดขึ้นไม่ถาวร อธิบายได้จากปฏิกิริยาดังนี้

$$2NO^-_2\,(aq) + 2I^-\,(aq) + 4H^+\,(aq) \longrightarrow I_2\,(aq) + N_2O_2\,(aq) + 2H_2O(l)$$

I_2 ที่เกิดขึ้นให้สีน้ำเงินกับน้ำแป้ง และถูกไทเทรตด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ จนไม่มีสี แต่ N_2O_2 ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนได้ NO_2^- ไอออนซึ่งจะไปออกซิไดส์ I^- เป็น I_2 อีกทำให้เกิดสีน้ำเงินขึ้นมาอีก

NO_2^- ไอออนที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างสามารถกำจัดออกจากน้ำตัวอย่างด้วยการเติม NaN_3 (Sodium azide, โซเดียมเอไซด์) ในสารละลายแอลคาไล-ไอโอไดด์ (สารละลาย alkali-iodide azide) หลังเติม H_2SO_4 เข้มข้นดังปฏิกิริยา

$$NaN_3\,(aq) + H^+\,(aq) \longrightarrow NH_3(aq) + Na^+(aq)$$

$$NaN_3\,(aq) + NO_2^-(aq) + H^+\,(aq) \longrightarrow N_2\,(aq) + N_2O(aq) + H_2O(l)$$

เมื่อ NO_2^- ไอออนถูกกำจัดแล้ว จากนั้นให้ดำเนินการไทเทรตหาปริมาณดีโอ โดยวิธีวิงค์เลอร์

สะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics Education : STEM Education) เป็นแนวทางในการจัดการศึกษาโดยบูรณาการ 4 สาขาวิชาเข้าด้วยกัน คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ ทักษะชีวิต ความคิดสร้างสรรค์และเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนในการปฏิบัติงานที่ต้องมีการใช้องค์ความรู้และทักษะกระบวนการด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งนำความรู้ไปสู่การสร้างนวัตกรรมในอนาคต โดยการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงงานที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจและฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และนำความรู้มาใช้ในการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของนักเรียนเพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558)

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2555) ได้กล่าวว่า การบูรณาการของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ หรือที่เรียกว่า STEM จะรวมทั้ง 4 สาขาวิชาเข้าด้วยกันโดยทุกสาขามีความสำคัญเหมือนกันและเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการศาสตร์ทั้งสี่ด้านเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนมีการนำความรู้ทุกแขนงมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยมีแนวความคิดหลักของแต่ละองค์ประกอบ STEM มีดังนี้

วิทยาศาสตร์ (Science) เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆในธรรมชาติโดยอาศัยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี (Technology) เป็นวิชาที่ว่าด้วยกระบวนการทำงานเพื่อแก้ไขปัญหา ปรับปรุงแก้ไข หรือพัฒนาสิ่งต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการหรือความจำเป็นของมนุษย์ โดยใช้กระบวนการแก้ไขปัญหาทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้เรียกว่า กระบวนการเทคโนโลยี (Technological process) ซึ่งเป็นกระบวนการในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน

วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการสร้างสรรค์นวัตกรรมหรือสร้างสิ่งต่าง ๆ เพื่อมาอำนวยความสะดวกของมนุษย์ โดยอาศัยความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และกระบวนการการทำงานทางเทคโนโลยีมาช่วยสร้างสรรค์ชิ้นงานนั้น ๆ

คณิตศาสตร์ (Mathematics) เป็นวิชาที่มีความสำคัญและมีความชัดเจนในตัวอยู่แล้วด้วยธรรมชาติของคณิตศาสตร์ที่มีทฤษฎีชัดเจน เป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้ศาสตร์อื่น และมี

บทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมทั้งสามสาขาวิชาเข้าด้วยกันเพื่อแก้ไขปัญหาการทำงานให้เป็นไปตามต้องการ

1. สะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการแบ่งได้เป็น 4 ระดับดังนี้

1.1 การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary Integration)

เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะในแต่ละรายวิชาแยกกัน โดยการจัดการเรียนรู้แบบนี้คือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นอยู่ทั่วไป ที่ครูผู้สอนในแต่ละรายวิชาได้ทำการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนตามรายวิชาของตนเอง

1.2 การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ (Multidisciplinary Integration)

เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะของแต่ละวิชาแยกกัน แต่มีข้อหลัก (theme) ที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกันและมีการอ้างอิงถึงความเชื่อมโยงระหว่างวิชานั้น ๆ การจัดการจัดการเรียนรู้แบบนี้ช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาในรายวิชาต่าง ๆ กับสิ่งที่อยู่รอบตัว

1.3 การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary Integration)

เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะอย่างน้อย 2 วิชาร่วมกัน โดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชา เพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกัน ในการจัดการเรียนรู้แบบนี้ครูผู้สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกัน โดยพิจารณาเนื้อหาหรือตัวชี้วัดที่ตรงกันและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาของตนเองโดยให้เชื่อมโยงกับวิชาอื่นผ่านเนื้อหาหรือตัวชี้วัดนั้น

1.4 การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary Integration)

เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยให้เชื่อมโยงความรู้และทักษะที่เรียนรู้จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ กับชีวิตจริง โดยนักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะเหล่านั้นในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนหรือสังคม และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของตนเอง ครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจหรือปัญหาของนักเรียน โดยครูอาจกำหนดกรอบหรือหัวข้อหลักของปัญหาอย่างกว้าง ๆ แล้วให้นักเรียนเป็นผู้ระบุปัญหาที่เฉพาะเจาะจงและวิธีการแก้ปัญหา ในการกำหนดกรอบปัญหานั้น ครูต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของนักเรียน 3 ปัจจัยดังนี้

1) ปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสนใจ
2) ตัวชี้วัดในรายวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3) ความรู้เดิมของนักเรียน

2. ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

2.1 ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นพื้นฐาน

2.2 ผู้เรียนเข้าใจสาระวิชาและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากขึ้น

2.3 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้และเชื่อมโยงกันระหว่างกลุ่มสาระวิชา

2.4 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีส่วนร่วมสนับสนุนการจัดกิจกรรมของครูและบุคลากรทางการศึกษา

2.5 สร้างกำลังคนด้านสะเต็มของประเทศไทย เพื่อพัฒนาศักยภาพทางเศรษฐกิจของชาติ

3. แนวทางการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษา

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2556) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาไว้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ STEM จะต้องสอดคล้องกับหลักสูตรหรือมาตรฐานการเรียนรู้ สามารถนำไปบูรณาการกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบเดิม และกระบวนการจัดการเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์นอกจากการค้นคว้าเพื่อให้ได้คำตอบแต่ยังมุ่งเน้นการปฏิบัติทั้งการทดลองการสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยการบูรณาการร่วมกับคณิตศาสตร์และใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมและเทคโนโลยี เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะต่าง ๆ จากการฝึกปฏิบัติ

การจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาในชั้นเรียนจะต้องมีการกำหนดกรอบเวลาอย่างชัดเจนและให้สอดคล้องกับภาระงานของผู้เรียน อาจแบ่งกิจกรรมได้เป็นกิจกรรมช่วงเวลาสั้น (4-6 ชั่วโมง) กิจกรรมโครงงานย่อย (2-8 สัปดาห์) หรือการทำโครงงาน (Project based Learning: PBL) ระยะเวลาตลอดภาคเรียนก็ได้

หลักการสำคัญในการจัดการเรียนรู้สะเต็ม คือการจัดกิจกรรมจะต้องใช้บริบทของกิจกรรมที่นักเรียนคุ้นเคยเพื่อให้นักเรียนมีการเชื่อมโยงกับชีวิตจริงและมองว่าเป็นสิ่งใกล้ตัว มีการใช้คำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกคิดแก้ปัญหา (Problem solving) ฝึกการคิดเชิงระบบ (Systems thinking) และการคิดวิเคราะห์ (Critical thinking) มุ่งเน้นการทำงานเป็นทีม และให้ผู้เรียนฝึกใช้อุปกรณ์ สื่อ เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่พบเห็นในชีวิตจริงเพื่อเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ (เช่น เป็นเครื่องมือในการสืบค้นข้อมูล) รวมถึงมีการฝึกการนำเสนอผลงานที่นักเรียนได้จัดทำช่วยให้ผู้เรียนตระหนักถึงจุดมุ่งหมาย เหตุผล กระบวนการในการเรียนรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2558) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาไว้ว่า สะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้แบบบูรณาการ ที่ใช้ความรู้ทักษะในด้านต่าง ๆ ผ่านการทำกิจกรรม หรือการทำโครงงาน ที่เหมาะสมกับวัยและระดับชั้นของผู้เรียน การเรียนรู้

แบบสะเต็มศึกษาจะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะการคิด ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ทักษะการแก้ปัญหา และทักษะการสื่อสาร ซึ่งทักษะดังกล่าวเป็นทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่ผู้เรียนพึงมี และนักเรียนสามารถนพความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

สิ่งที่ควรคำนึงถึงการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อผู้เรียนมีดังนี้

1. จัดการเรียนการสอนโดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ให้มากที่สุด

2. ส่งเสริมให้นักเรียนได้ร่วมทำงานกลุ่มด้วยตนเอง โดยจัดกิจกรรมต่าง ๆ ให้หลากหลายเพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกัน

3. จัดประสบการณ์ตรงให้แก่ผู้เรียน โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากสิ่งที่เป็นจริงที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง และสามารถนำความรู้นั้นไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

4. จัดบรรยากาศในชั้นเรียนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความกล้าในการแสดงออก โดยผู้สอนต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดกับผู้อื่นในกลุ่ม และในชั้นเรียนสม่ำเสมอ เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้เรียนในการกล้าที่จะแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา

5. ปลูกฝังจิตสำนึก ค่านิยม และจริยธรรม ที่ถูกต้องและดีงาม โดยแทรกในกระบวนการการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถแยกแยะความถูกต้องและดีงามในการดำรงชีวิตในสังคมได้

การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนนั้นเริ่มจากการกำหนดประเด็นในการศึกษาแล้วพิจารณาเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มรายวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ว่ามีตัวชี้วัดใดบ้างที่สามารถนำมาจัดกิจกรรมแบบบูรณาการร่วมกันได้ ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากนั้นใช้รูปแบบการสืบเสาะหาความรู้ในการดำเนินกิจกรรม โดยการบูรณาการไม่จำเป็นต้องบูรณาการได้ครบทุกรายวิชาแต่เน้นให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาด้วยตนเอง

การนำกิจกรรมสะเต็มไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน สามารถดำเนินการได้ 3 แนวทางดังนี้

1. จัดกิจกรรมสอดแทรกเนื้อหาไปตามเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละรายวิชาภายในคาบเรียน ซึ่งกิจกรรมสะเต็มที่จะนำเข้าไปใช้สอดแทรกในคาบเรียนนั้น มักจะเป็นกิจกรรมที่มีจำนวนชั่วโมงที่เหมาะสมที่จะสามารถจัดกิจกรรมได้เสร็จสิ้นภายในคาบเรียน โดยผู้สอนแต่ละรายวิชาอาจพิจารณาจากตัวชี้วัดของกิจกรรมนั้น ๆ เป็นเกณฑ์ หรือพิจารณาจากจุดประสงค์ของ

กิจกรรมก็ได้ว่าเกี่ยวข้องกับเนื้อหาใดบ้าง จากนั้นเมื่อถึงคาบของการเรียนการสอนในเนื้อหานั้น ๆ ก็สามารถนำกิจกรรมสะเต็มเข้าไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้

2. จัดกิจกรรมไว้ในรายวิชาเลือกเสรีของกลุ่มวิชาต่าง ๆ โดยการสอนในรูปแบบนี้อาจทำได้ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหาพิเศษ หรือการทำโครงงาน เป็นต้น รูปแบบการสอนโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมสะเต็มที่ต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมค่อนข้างมากหรือมีความซับซ้อนและยาก และมีข้อดีที่ทางผู้สอนสามารถจัดหาอาจารย์ที่ปรึกษาให้แก่ผู้เรียนได้ครอบคลุมในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องเพื่อให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา หรือออกแบบและสร้างชิ้นงานของผู้เรียนได้

3. จัดกิจกรรมไว้ในกลุ่มกิจกรรมนอกห้องเรียนต่าง ๆ เช่น ชุมชุม ชมรม ค่าย ซึ่งรูปแบบการจัดกิจกรรมนี้ มักเป็นกิจกรรมสะเต็มที่มีหัวข้อหรือหัวเรื่องที่เกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การสร้างนวัตกรรมที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของส่วนรวม การจัดกิจกรรมโดยวิธีนี้มีข้อดีที่ผู้เรียนสามารถทำกิจกรรมได้ตลอดเวลาและต่อเนื่อง

4. การวัดและประเมินผล

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2556) ได้กล่าวการวัดและประเมินผลสะเต็มศึกษาไว้ว่า การวัดผลและประเมินผลนั้นจะต้องมีแนวทางที่สอดคล้องกับหลักสูตรและมาตรฐานการเรียนรู้ที่ครอบคลุมการปฏิบัติในชั้นเรียน การวัดผลไม่เพียงจะดูแต่ที่ผลงานปลายทางของผู้เรียน แต่จะต้องให้ความสำคัญของกระบวนการทำงาน และทักษะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน ซึ่งจะสอดคล้องกับการประเมินตามสภาพจริง การวัดและประเมินผลดังกล่าวได้สอดคล้องกับ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2558) ที่ได้กล่าวว่า การวัดและประเมินผลตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้น เน้นการวัดและประเมินผลในสภาพจริงและที่ผู้เรียนแสดงออกขณะทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความรู้ ความคิด เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและประเมินผลเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้เรียนและตัวผู้สอนที่จะได้รับทราบพัฒนาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้ และความสำเร็จของผู้เรียนว่าอยู่ในระดับใด ซึ่งแนวทางการวัดและประเมินผลมีดังนี้

1. การประเมินจากสภาพจริง

การประเมินจากสภาพจริง (authentic assessment) คือ การประเมินความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน จากการแสดงออก การกระทำหรือผลงานเพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเอง ในขณะที่ผู้เรียนแสดงออกในการปฏิบัติกิจกรรมหรือสร้างชิ้นงาน ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการคิดระดับสูง กระบวนการทำงานและความสามารถในการแก้ปัญหาหรือการแสวงหาความรู้

การประเมินจากสภาพจริงจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมีการประเมินหลาย ๆ ด้าน โดยใช้วิธีประเมินหลากหลายวิธีในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงและต้องประเมินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอที่จะสะท้อนถึงการพัฒนาและความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนได้

1. ลักษณะสำคัญของการประเมินจากสภาพจริง

1.1 การประเมินต้องผสมผสานไปกับการเรียนการสอนและต้องประเมินอย่างต่อเนื่อง โดยใช้วิธีประเมินหลาย ๆวิธีที่ครอบคลุมพฤติกรรมหลาย ๆด้านในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

1.2 สามารถประเมินกระบวนการคิดซับซ้อน ความสามารถในการปฏิบัติงาน ศักยภาพของผู้เรียนในแง่ของผู้ผลิต และกระบวนการที่ได้ผลผลิตมากกว่าที่จะประเมินว่าผู้เรียนสามารถจดจำความรู้อะไรได้บ้าง

1.3 เป็นการประเมินที่มุ่งเน้นศักยภาพโดยรวมของผู้เรียนทั้งด้านความรู้พื้นฐาน ความคิดระดับสูง ความสามารถในการแก้ปัญหา การสื่อสาร เจตคติ ลักษณะนิสัย ทักษะในด้านต่าง ๆ และ ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ฯลฯ

1.4 เป็นการประเมินที่ให้ความสำคัญต่อพัฒนาการของผู้เรียน ข้อมูลที่ได้จากการประเมินหลายๆ ด้าน และหลากหลายวิธีสามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยจุดเด่นของผู้เรียนที่ควรจะให้การส่งเสริม และวินิจฉัยจุดด้อยที่จะต้องให้ความช่วยเหลือหรือแก้ไข เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มตามศักยภาพ ตามความสนใจ และความสามารถของแต่ละบุคคล

1.5 ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจะสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการเรียนการสอน และการวางแผนการสอนของครูว่าเป็นไปตามจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนหรือไม่ ครูสามารถนำข้อมูลจากการประเมินมาปรับกระบวนการนำเสนอเนื้อหา กิจกรรมและตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเหมาะสมในการเรียนการสอนต่อไป

1.6 เป็นการประเมินที่ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักตัวเอง เชื่อมั่นในตนเองและสามารถพัฒนาตนเองได้

1.7 เป็นการประเมินที่ทำให้การเรียนการสอนมีความหมาย และเพิ่มความเชื่อมั่นได้ว่าผู้เรียนสามารถถ่ายโอนการเรียนรู้ไปสู่การดำรงชีวิตในสังคมได้

2. วิธีการและแหล่งข้อมูลที่ใช้

เพื่อให้การวัดและประเมินผลได้สะท้อนความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน ผลการประเมินอาจจะได้มาจากแหล่งข้อมูลและวิธีการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สังเกตการแสดงออกเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม
2. ชิ้นงาน ผลงาน รายงาน

3. การสัมภาษณ์
4. บันทึกของผู้เรียน
5. การประชุมปรึกษาหารือร่วมกันระหว่างผู้เรียนและครู
6. การวัดและประเมินผลภาคปฏิบัติ (practical assessment)
7. การวัดและประเมินผลด้านความสามารถ (performance assessment)
8. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้โดยใช้แฟ้มผลงาน (portfolio assessment)
9. การทดสอบ ฯลฯ

2. การวัดและการประเมินผลด้านความสามารถ (performance assessment)

ความสามารถของผู้เรียนประเมินได้จากการแสดงออกโดยตรงจากการทำงานต่าง ๆ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ซึ่งเป็นของจริงหรือใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยประเมินจากกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด โดยเฉพาะความคิดขั้นสูงและผลงานที่ได้

ลักษณะสำคัญของการประเมินความสามารถ คือ กำหนดวัตถุประสงค์ของงาน วิธีการทำงาน ผลสำเร็จของงาน มีคำสั่งควบคุมสถานการณ์ในการปฏิบัติงาน และมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน การประเมินความสามารถที่แสดงออกของผู้เรียนทำได้หลายแนวทางต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สถานการณ์ และความสนใจของผู้เรียน

วิศวกรรมศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2556) ได้กล่าวว่า วิศวกรรมศาสตร์สำหรับระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานที่ปรากฏในประเทศสหรัฐอเมริกา มีความหมายเกี่ยวกับการออกแบบ (design) วางแผน (planning) การแก้ปัญหา (problem solving) การใช้องค์ความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาสร้างสรรค์ผลงานภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไข (constraints and criteria) ที่กำหนด ส่วนมากจะกล่าวถึงการออกแบบ ว่ากระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering design process) ซึ่งวิศวกรรมในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานเป็นการนำเอาองค์ความรู้โดยเฉพาะวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างสรรค์ผลงานและเชื่อมโยงกับโลกแห่งความเป็นจริง ทั้งนี้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นเพียงกระบวนการทำงานที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอนรู้จักการวางแผนการแก้ปัญหา เข้าใจกระบวนการที่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ของวิศวกรที่ต้องมีการวางแผนการทำงาน การทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข การคิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อทดสอบวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งกระบวนการนี้จะคล้ายกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องมีปัญหาหรือข้อสงสัย การตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง และการลงข้อสรุป โดยจุดต่างที่สำคัญระหว่างกระบวนการทางวิศวกรรมและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์คือ การออกแบบ

ทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลายแล้ววิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดซึ่งอาจไม่ใช่แนวทางที่ถูกต้องที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการทางวิศวกรรมนอกจากนั้นกระบวนการทางวิศวกรรมเน้นที่การประยุกต์ใช้องค์ความรู้เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานออกมา ในขณะที่กระบวนการทางวิทยาศาสตร์มักมุ่งไปที่การได้มาซึ่งคำตอบของข้อสงสัยหรือองค์ความรู้ที่เป็นทฤษฎีเท่านั้น

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2558) ได้กล่าวถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมว่า เป็นขั้นตอนของการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ ซึ่งมีได้หลายรูปแบบแต่มีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การระบุปัญหา (Identify a Challenge) เป็นขั้นตอนที่ผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจในสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการหรือสร้างนวัตกรรม (innovation) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore Ideas) คือ การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดี ข้อด้อย และความเหมาะสม เพื่อเลือกแนวคิด แนวทางหรือวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

3. การวางแผนและพัฒนา (Plan and Develop) ผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงาน รวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการให้ชัดเจน รวมถึงการออกแบบและพัฒนาต้นแบบ (prototype) ของผลผลิต เพื่อใช้ในการทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา

4. การทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluate) เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบ เพื่อแก้ปัญหาโดยผลที่ได้อาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ไขมากยิ่งขึ้น

5. การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the Solution) หลังการพัฒนา ปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหาต้องนำเสนอผลลัพธ์ โดยออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

เนื่องจากงานวิจัยนี้สนใจศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนที่ผ่านการเรียนรู้โดย STEM Education ซึ่งงานวิจัยนี้จัดเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพโดยเก็บข้อมูลด้วยวิธีการที่หลากหลาย และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการตีความและการสร้างความหมาย ดังนั้นการวัดและประเมินผลควรเป็นดังนี้(ลือชา ลดาชาติ, 2555)

1. ใช้วิธีการต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การสังเกต การสัมภาษณ์ อะนุทิน สะท้อนความคิด และการวิเคราะห์เอกสาร

2. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพดังนี้

2.1 การจัดเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการที่ผู้วิจัยจัดกระทำข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมสำหรับการตีความและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด

2.2 การแตกข้อมูลออกเป็นส่วนย่อย เป็นกระบวนการที่ผู้วิจัยอ่านข้อมูลที่ผ่านการจัดเตรียมข้อมูลแล้วอย่างละเอียดเพื่อทำความเข้าใจข้อมูลทั้งหมดในภาพรวม ข้อมูลมีองค์ประกอบอะไรบ้าง ข้อมูลแต่ละองค์ประกอบมีความหมายและสัมพันธ์กันอย่างไร จากนั้นทำการแตกข้อมูลเป็นส่วนย่อยโดยอาจจะเขียนในรูปวลี ประโยค หรือย่อหน้าก็ได้แล้วเขียนแหล่งที่มาของข้อมูลด้วย

2.3 การให้รหัสข้อมูลส่วนย่อยเกิดขึ้นทันทีหลังจากการแตกข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยแล้ว โดยผู้วิจัยต้องให้รหัสของข้อมูลส่วนย่อยเดียวกันกับข้อมูลที่มีความหมายเดียวกันหรือคล้ายกัน

2.4 การจัดหมวดหมู่ข้อมูลส่วนย่อย ในระหว่างการให้รหัสข้อมูลส่วนย่อยจากการอ่าน ตีความ และเปรียบเทียบข้อมูลหลาย ๆ รอบแล้วทำการรวบรวมข้อมูลที่เหมือนกันไว้ด้วยกัน โดยที่ข้อมูลนั้นจะต้องอยู่ที่หมวดหมู่ใดหมวดหมู่หนึ่งเท่านั้น

2.5 ตั้งชื่อหมวดหมู่ข้อมูล ในการตั้งชื่อหมวดหมู่ข้อมูลนั้นชื่อที่ตั้งต้องสื่อความหมายของข้อมูลหน่วยย่อยภายในทั้งหมดได้จากนั้นก็นำข้อมูลมาวิเคราะห์ประมวลผลแล้วเรียบเรียงนำเสนอในรูปความเรียง

3. ตัวบ่งชี้คุณภาพของงานวิจัยเชิงคุณภาพ

นักวิจัยเชิงคุณภาพได้กำหนดและยึดถือตัวบ่งชี้คุณภาพของงานวิจัยเชิงคุณภาพ 4 ประการ คือ ความน่าเชื่อถือ (Credibility) ความสามารถถ่ายโอน (Transferability) ความยึดมั่นอยู่กับข้อมูล (Dependability) และความสามารถยืนยัน (Confirmability) โดยสรุปตัวบ่งชี้คุณภาพ ความหมาย และวิธีการในการสร้างความน่าเชื่อถือให้งานวิจัยเชิงคุณภาพดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สรุปตัวบ่งชี้คุณภาพ ความหมาย และวิธีการในการสร้างความน่าเชื่อถืองานวิจัยเชิงคุณภาพ

ตัวบ่งชี้คุณภาพ		ความหมาย	วิธีการ
งานวิจัยเชิงคุณภาพ	ตัวเทียบเคียงกับงานวิจัยเชิงปริมาณ		
ความน่าเชื่อถือ (Credibility)	ความตรงภายใน (Internal validity)	ผลการวิจัยตอบคำถามวิจัย และเป็นความจริงตามมุมมอง ความคิด ความเข้าใจ หรือความรู้สึกของผู้ให้ข้อมูล	-การมีส่วนร่วมที่ยาวนาน -การตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า -การตรวจสอบกับผู้ให้ข้อมูล -การตรวจสอบกับเพื่อนผู้เชี่ยวชาญ -การตรวจสอบความขัดแย้งของข้อมูล -การเปิดเผยอคติของนักวิจัย
ความสามารถถ่ายโอน(Transferability)	ความตรงภายนอก (External validity)	ผลการวิจัยสามารถถูกนำไปใช้กับคน กลุ่มอื่น ในบริบทอื่น หรือช่วงเวลาอื่น ได้มากน้อยเพียงใด	-การบรรยายบริบทของการวิจัยอย่างละเอียด
ความยึดมั่นอยู่กับข้อมูล(Dependability)	ความเที่ยง/ความเชื่อมั่น(Reliability)	ผลการวิจัยมีความสอดคล้องและมีพื้นฐานมาจากข้อมูล	-การแสดงร่องรอยการจัดกระทำข้อมูล -การตรวจสอบกับเพื่อนผู้เชี่ยวชาญ -การเปิดเผยอคติของนักวิจัย
ความสามารถยืนยัน (Confirmability)	ความเป็นปรนัย (Objectivity)	ผลการวิจัยเป็นผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวิจัย ไม่ใช่อคติของนักวิจัย	

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทางด้านการพัฒนาชุดกิจกรรม

1.1 การพัฒนาชุดกิจกรรมในห้องปฏิบัติการ

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต และนัยนา ศรีชัย (2549) ได้ทำการประเมินชุดทดสอบที่เตรียมเองสำหรับวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนภายนอกห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมชุดทดสอบที่เตรียมขึ้นเองให้มีขนาดเล็ก กะทัดรัด และเหมาะสมกับการวิเคราะห์นอกห้องปฏิบัติการ มีต้นทุนในการวิเคราะห์ต่ำกว่าวิธีดัดแปลงของวิงเลอร์โดยใช้แอไซด์ถึง 8 เท่า การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากน้ำตัวอย่าง 305 ตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ ระหว่างชุดที่เตรียมขึ้นเองกับวิธีดัดแปลงของวิงค์เลอร์โดยใช้เอไซด์ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีมีความสัมพันธ์กันดี ($r=0.999$, $p<0.00$) โดยมีความสัมพันธ์แบบสมการถดถอยเชิงเส้น $Y=0.9992X + 0.0111$ ($p<0.00$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการทดสอบ paired t-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

1.2 การพัฒนากิจกรรมการสอนโดยใช้ชุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ

Nugultham and Shiowatana (2010) ได้ศึกษาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมในไทยโดยใช้ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลอง pH ฟอสเฟตและออกซิเจนละลายน้ำ การพัฒนาชุดการทดลองให้มีต้นทุนต่ำและออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็ว และให้นักเรียนศึกษาจากการสำรวจสารในชีวิตประจำวัน ในชุดการทดลองประกอบด้วยคู่มือการเรียนการสอน แผนการสอน แบบบันทึกการทดลอง ทำการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความสนุกสนานจากการใช้ชุดทดลองและนักเรียนมีการอภิปรายเกี่ยวกับแนวคิดทางด้านวิทยาศาสตร์มากขึ้นทำให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางเคมีมากขึ้น

สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และสุภาภรณ์ ศิริโสภณา (2011) ได้ทำการศึกษาการสร้างชุดกิจกรรม เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในท้องถิ่น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความพึงพอใจ และความคงทนทางการเรียน พบว่าชุดกิจกรรมที่สร้างขึ้น มีค่าเฉลี่ยของความเห็นผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดกิจกรรมทั้ง 6 หน่วย เท่ากับ 4.53 ± 0.20 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก และการหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมพบว่า มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 74.37/71.32 นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังใช้ชุดกิจกรรมสูงกว่าก่อนใช้ชุดกิจกรรม ($p<0.05$) และนักเรียนมีความพึงพอใจในระดับดี เมื่อศึกษาความคงทนทางการเรียนเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 เดือนพบว่า นักเรียนมีความคงทนทางการเรียนในระดับคงที่ เฉลี่ยร้อยละ 70.02 ± 0.26

เสรี ปานเงิน, เจษฎา มิ่งฉาย และจันเพ็ญ ชุมแสง (2554) ได้ทำการพัฒนาการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาเรื่องการอนุรักษ์ดิน น้ำและป่าไม้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เปรียบเทียบความรู้ความเข้าใจ เจตคติ พฤติกรรม ที่ใช้สอนสิ่งแวดล้อมศึกษากับวิธีสอนปกติ ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา ผลการวิจัยพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้สอนสิ่งแวดล้อมศึกษามีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 87.31/92.08 นักเรียนที่เรียนโดยใช้วิธีสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา มีความรู้ เจตคติและพฤติกรรมเกี่ยวกับการอนุรักษ์ดิน น้ำและป่าไม้สูงกว่าวิธีสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อวิธีสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาอยู่ในระดับมาก

จารีพร ผลมูล, สุนีย์ เหมาะประสิทธิ์ และเกริก ศักดิ์สุภาพ (2558) ได้ทำการพัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM โดยศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จิตสำนึกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และความพึงพอใจของนักเรียน และศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยการเรียนรู้ ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ร้อยละ65 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจิตสำนึกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ผ่านเกณฑ์ระดับดีเท่ากับ 3.51 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 หน่วยการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ 81.65/78.33 ตามเกณฑ์ 80/80

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การพัฒนาชุด DO test kit มีแนวทางในการพัฒนาเพื่อให้การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายในน้ำนั้น สะดวกต่อการนำไปใช้ตรวจสอบ มีราคาต้นทุนที่ต่ำ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และมีการนำชุดตรวจวัดมาใช้ในรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษามีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการสอนต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม

2. ทางด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ภัสสร ติดมา (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ของโรงเรียนอุดมดรุณี จำนวน 48 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ 2) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ 3) แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ผลการวิจัยพบว่า 1) การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโดยคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 79 ขึ้นไป 2) นักเรียนมีแนวทางการเรียนรู้สามารถเลือกแบบจำลองอวัยวะโดยบอกเหตุผลได้อย่างสมเหตุสมผล วางแผนการทำงานและซื้อวัสดุ

อุปกรณ์สร้างแบบจำลองอวัยวะโดยคำนึงถึงราคาและคุณสมบัติของวัสดุ สร้างและปรับปรุงแบบจำลองอวัยวะได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น

จรูญพงษ์ ชลสินธุ์ (2559) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต่อการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 21 คน โดยใช้รูปแบบการวิจัยแบบปฏิบัติการ 3 วงจรปฏิบัติการ มีเครื่องมือในการวิจัย คือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และแบบทดสอบสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถร่วมกันแก้ปัญหา ในสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยพบว่านักเรียนสามารถพัฒนาสมรรถนะได้อยู่ในระดับปานกลาง คือ นักเรียนสามารถแก้ไขปัญหาได้ เมื่ออยู่ในสภาวะร่วมกลุ่ม แต่พบอุปสรรคเมื่ออยู่ด้วยตนเองดังนั้นการจัดการเรียนรู้จะต้องเน้นบทบาทของสมาชิกให้มีโอกาสแลกเปลี่ยนการเรียนรู้อย่างเท่าเทียมเป็นการแก้ปัญหาแบบกลุ่มภายใต้สถานการณ์จริง

วรรณา รุ่งลักษมีศรี (2551) ได้ศึกษาผลของการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ในโรงเรียนสาธิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม จำนวน 2 ห้องเรียน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม และกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์ มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.70 2) แบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสาน มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.75 ค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.31- 0.80 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.27 – 0.72 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยการจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์เฉลี่ย ร้อยละ 75.58 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ร้อยละ 70 2) นักเรียนกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานเฉลี่ยร้อยละ 83.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ร้อยละ 70 3) นักเรียนกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์เฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 4) นักเรียนกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยจัดการเรียนการ

สอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการสอนที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ พบว่า การสอนที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์มีลักษณะของปัญหาที่ไม่ตายตัว ปัญหามีความท้าทายและเชื่อมโยงกับชีวิตจริง ในการดำเนินการแก้ไขปัญหาให้สำเร็จนั้นต้องอาศัยการทำงานแบบร่วมมือกันอย่างเป็นระบบ มีการออกแบบความรู้มาใช้ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานภายใต้เงื่อนไขข้อกำหนดที่จำกัด สามารถฝึกให้นักเรียนทำงานเป็นกระบวนการ ผ่านการทดลองใช้ ทำซ้ำและแก้ไขปรับปรุงจนกว่าจะได้วิธีการแก้ไขปัญหาที่ดีที่สุดออกมา

3. ทางด้านการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา

พัชรี อินทปัญญา, บุญนาค สุขุมเมฆ และชาตรี ฝ่ายคำตา (2558) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยการใช้กิจกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน ในเนื้อหา เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ผลการวิจัยพบว่า การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์แบบใช้ปัญหาเป็นฐานช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ เนื่องจากเน้นการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของการเรียนรู้ทฤษฎี และสามารถนำความรู้จากศาสตร์ต่างๆ มาบูรณาการกันเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ และนักเรียนร้อยละ 79.35 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ได้คะแนนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สูงกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม มีคะแนนเฉลี่ย 22.81 ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน 3.37 และมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และคะแนนเจตคติต่อวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่ และศรีสมร พุ่มสะอาด (2558) ได้ทำการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา โดยศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาจากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัย นอกจากนี้ยังจัดประชุมสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) เพื่อสังเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้และการประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษา ผลการวิจัย พบว่าในการจัดการเรียนรู้และการประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษา ผู้สอนควรศึกษาสาระสำคัญของสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยีและกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในลักษณะของการบูรณาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน วางแนวทางการจัดการเรียนรู้ควรเป็นการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริงได้แก่การจัดการเรียนรู้ที่เน้น

ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) จัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของผู้เรียน ตลอดจนวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Assessment)

พลศักดิ์ แสงพรมศรี (2558) ได้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อการเรียนรวิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนพยัคฆภูมิวิทยาคาร อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ที่ได้รับการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับแบบปกติโดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 2 ห้องเรียน จำนวน 102 คนใช้การสุ่มแบบกลุ่ม (Clustur ramdom sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 7 แผน 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 3) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 4) แบบวัดเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อวิชาเคมีสูงกว่าการเรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01

นิตยา ภูผาบาง (2559) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ เปรียบเทียบทักษะด้านบูรณาการทางวิทยาสาสตร์ของนักเรียนใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนชลกันยานุกูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 52 คน ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แผ่นฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวหดลง และเมื่อเพิ่มกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้แผ่ฟิล์มมีค่าความต้านท้านแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสของยังลดลงแต่จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น และแผ่นฟิล์มที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา พบว่าการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นการสอนแบบบูรณาการ 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง เชื่อมโยงกับสถานการณ์ เช่น การผลิตพลาสติกจากแป้งมันสำประหลัง การออกแบบสิ่งประดิษฐ์อวัยวะร่างกายของมนุษย์ ทำให้เกิดความท้าทาย กระตือรือร้น สนุก อยากมีส่วนร่วมใน

การทำกิจกรรม มีการประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริงทำให้นักเรียนมองเห็นประโยชน์ของศาสตร์ทั้ง 4 สาขาเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาและมีเจตคติที่ดี ต่อวิชาวิทยาศาสตร์ ส่งผลต่อผลการเรียนรู้วิชาวิทยาสาสตร์และคณิตศาสตร์ให้สูงขึ้นและสามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถใช้ชีวิตอยู่ในสังคมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้อย่างมีคุณภาพ

Strimel (2014) ได้พัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในระดับบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา ผลการวิจัยพบว่ากิจกรรมการบูรณาการที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้ผู้เรียนมีการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการออกแบบ สร้างชิ้นงาน ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์

Lee (2015) ได้ศึกษาการสอนแบบบูรณาการวิชาชีววิทยาเข้ากับเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ หรือ BTEM เพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 พบว่านักเรียนสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิชาชีววิทยา นักเรียนสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงซึ่งนักเรียนต้องมีการค้นหาแนวทางในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โดยการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์จะช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น การใช้เทคโนโลยีจะช่วยให้นักเรียนได้ข้อมูลตามที่ต้องการ และคณิตศาสตร์ใช้ในการคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาได้

จากการศึกษาพบว่าการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการ 4 สาขาวิชา คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมุ่งเน้นการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับในชีวิตประจำวันและนำความรู้ไปใช้ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหานั้นนักเรียนต้องมีการนำความรู้ต่าง ๆ เช่น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และกระบวนการทำงานทางเทคโนโลยีมาใช้ในการออกแบบและสร้างนวัตกรรม โดยนักเรียนจะต้องสามารถอธิบายกระบวนการทำงานของนวัตกรรมและความรู้มาที่นำมาใช้ได้ไม่ใช่การลองผิดลองถูก ดังนั้นเพื่อให้นักเรียนมีกระบวนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอนรู้จักการวางแผนการแก้ปัญหา เข้าใจกระบวนการที่ได้มาของนวัตกรรมต้องมีการวางแผนการทำงาน การทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข การคิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อทดสอบวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นเมื่อนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนจะทำให้นักเรียนนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี มาใช้ในการออกแบบชิ้นงาน เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของนักเรียน ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแทนการสอนวิธีปกติเพื่อส่งเสริมการออกแบบชิ้นงาน การวางแผนและทำงานอย่างเป็นระบบของนักเรียน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม เพื่อใช้ออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา รายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

ตอนที่ 2 การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 3 การนำกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 1 การเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. ขวด BOD ขนาด 60 และ 300 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100, 200, 250 และ 1000 มิลลิลิตร
3. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร
5. กระบอกฉีดยาขนาด 1 และ10 มิลลิลิตร
6. ขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร
7. ปิเปตขนาด 1, 5, 25 และ 50 มิลลิลิตร
8. บีกเกอร์ขนาด 50, 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
9. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
10. ขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) (AR grade ของChemikit)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (AR grade ของMerck)
3. โซเดียมไอโอไดด์ (NaI)(AR grade ของMerck)
4. โซเดียมเอไซด์ (NaN_3)(AR grade ของMerck)

5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)(AR grade ของMerck)

6. แป้ง (starch)(Technical gradeของGammaco)

7. กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) (Technical gradeของศึกษาภัณฑ์พานิชย์)

8. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)(AR grade ของMerck)

9. โพแทสเซียมไบไอโอเดต ($KH(IO_3)_2$(AR grade ของMerck)

10. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) (AR grade ของMerck)

ขั้นตอนในการเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต(Manganese Sulfate Solution)โดยละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตรในขวดปริมาตร

2. เตรียมสารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดด์ เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide Solution)โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร และเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม (ซึ่งละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร) ลงในสารละลายดังกล่าว

3. เตรียมน้ำแป้ง (starch solution) โดยละลายแป้ง 16 กรัม และกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 2 กรัมในน้ำกลั่นร้อน 1 ลิตร

4. เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N (นอร์มัล)โดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 6.205 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.4 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร เทียบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน (standardize) กับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบไอโอเดต

5. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไบไอโอเดต 0.025 N (นอร์มัล)โดยละลายโพแทสเซียมไบไอโอเดต ($KH(IO_3)_2$0.8124 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

6. วิธีเทียบความเข้มข้น(standardize)ของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบไอโอเดต

6.1 ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 100-150 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบไอโอเดต 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 200 มิลลิลิตรนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ที่ จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

6.2 คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจากสูตร

$N_1V_1 = N_2V_2$

N_1= นอร์มัลของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

V_1= ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

N_2= นอร์มัลของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบไอโอเดต

V_2= ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไบไอโอเดต

7. เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.0010 N, 0.0011 N และ 0.0012 N ได้จากการนำสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ที่เตรียมไว้จากข้อ 4 มาเจือจางในขวดวัดปริมาตรที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ

ขั้นตอนการเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric Method แล้วทำการพัฒนาชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามโดยลดความเข้มข้นและปริมาตรของสารเคมีที่ใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดสอบและได้ดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดให้มีขนาดเล็ก หาได้ง่าย สามารถวิเคราะห์ผลได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณภาพน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยใช้การตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric Method (การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ใช้วิธีการของ กรมอนามัย, 2537 อ้างอิงจาก Standard Methode)

1.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์มี 3 แหล่ง ดังนี้

1.1.1 น้ำประปาโรงเรียน

1.1.2 สระน้ำหลังห้องสมุด

1.1.3 ท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู

1.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric Method ในการหาค่าออกซิเจนละลายจากน้ำตัวอย่างโดยใช้ขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร ทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากบริเวณแหล่งน้ำตัวอย่างได้ดังนี้

1.2.1 ล้างขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร ด้วยน้ำตัวอย่างที่ต้องการเก็บ 2-3 ครั้ง ก่อนแล้วจุ่มขวดเก็บตัวอย่างลงในน้ำ ให้ขวดตัวอย่างจมอยู่ใต้ผิวหน้าน้ำปล่อยให้น้ำไหลสู่ขวดจนเต็มเคาะขวดเก็บตัวอย่างน้ำเบา ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศปิดจุกขวดให้เรียบร้อยในขณะที่ขวดเก็บตัวอย่างยังจมอยู่ในน้ำแล้วจึงยกขวดขึ้นจากน้ำเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตรและอัล

คาไลด์ไอโอไดด์เอไซด์ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดบีโอดีที่ใส่น้ำตัวอย่างโดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำตัวอย่างเล็กน้อย ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขึ้นลง 15 ครั้ง

1.2.2 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส 1/2 ของขวด

1.2.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดก่อนตะกอนจะล้นออกจากปากขวดเขย่ากลับไปกลับมาประมาณ 15 ครั้ง

1.2.4 เทตัวอย่างปริมาตร 201 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

1.2.5 ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปอ่านปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้สำหรับการไทเทรตตัวอย่าง 201 มิลลิลิตร แล้วบันทึกผลการทดลอง สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้น เพื่อให้ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากับค่าออกซิเจนละลายในน้ำ

2.1 ในการศึกษาใช้ตัวอย่างน้ำที่โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์จากแหล่งน้ำ 2 แหล่งที่บริเวณสระน้ำ(แทนตัวอย่างน้ำเสีย) และน้ำประปา (แทนตัวอย่างน้ำดี) เก็บแหล่งน้ำละ 3 ตัวอย่าง เทียบการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่วิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายในน้ำจากชุดที่เตรียมขึ้นกับวิธีมาตรฐาน

2.2 การทดสอบชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำใช้ขวด BOD ขนาด 60 มิลลิลิตร ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต 10 มิลลิลิตร ใช้หลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตรแทนบิวเรต และขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตรแทนขวดรูปชมพู และปรับความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจนค่าที่อ่านได้เท่ากับวิธีมาตรฐาน

2.3 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในภาคสนาม

2.3.1 ล้างขวด BOD ขนาด 60 มิลลิลิตร ด้วยน้ำตัวอย่างที่ต้องการเก็บ 2-3 ครั้ง ก่อนแล้วจุ่มขวดเก็บตัวอย่างลงในน้ำ ให้ขวดตัวอย่างจมอยู่ใต้ผิวหน้าน้ำปล่อยให้น้ำไหลสู่ขวดจนเต็มเกาะขวดเก็บตัวอย่างน้ำเบา ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศปิดจุกขวดให้เรียบร้อยในขณะที่ขวดเก็บตัวอย่างยังจมอยู่ในน้ำแล้วจึงยกขวดขึ้นจากน้ำ เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 0.2 มิลลิลิตร และอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซด์ 0.2 มิลลิลิตร ลงในขวดบีโอดีที่ใส่น้ำตัวอย่างโดยให้ปลายหลอดฉีด

ยาอยู่เหนือผิวน้ำตัวอย่างเล็กน้อย ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขึ้นลง 15 ครั้ง

2.3.2 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส 1/2 ของขวด

2.3.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดก่อนตะกอนจะล้นออกจากปากขวดเขย่ากลับไปกลับมาประมาณ 15 ครั้ง

2.3.4 ตวงตัวอย่างจากขวดในข้อ 2.3.3 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรด้วยกระบอกฉีดยา 10 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร

2.3.5 ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0012 N จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 0.2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปอ่านปริมาตรของสารละลายแล้วบันทึกผลการทดลอง สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้สำหรับการไทเทรตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร โดยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.6 ทำซ้ำ 6 ครั้งเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต จากความเข้มข้น 0.0012 N เป็น 0.0011 N และ 0.001 N ตามลำดับ

2.4 ทำการหาค่า t-Test โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิธีมาตรฐาน

3. การประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เตรียมขึ้น เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เหมาะสมโดยเลือกความเข้มข้น 0.0011 N ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2

3.1 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำระหว่างวิธีวิเคราะห์มาตรฐานกับชุดตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 27 เมษายน 2558 – 3 พฤษภาคม 2558 โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากมหาวิทยาลัยบูรพาจากแหล่งน้ำ 2 แหล่งที่บริเวณสระน้ำ(แทนตัวอย่างน้ำเสีย) และน้ำประปา (แทนตัวอย่างน้ำดี) และนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า t-Test ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95%

3.2 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำระหว่างวิธีวิเคราะห์มาตรฐานกับชุดตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นโดยเปลี่ยนจากขวดเก็บตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ขนาด 60 มิลลิลิตร เป็นขวดแก้วใสขนาด 60 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม 2558 – 24 พฤษภาคม 2558 ใช้ตัวอย่างน้ำที่โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์จากแหล่งน้ำ 2 แหล่งที่บริเวณสระน้ำ(แทนตัวอย่างน้ำเสีย) และน้ำประปา (แทนตัวอย่างน้ำดี) และนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า t-Test ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95%

ตอนที่ 2 การออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

จากการพัฒนาชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม ผู้วิจัยได้นำมาออกแบบกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเพื่อศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่

1.2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

1.2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนจากงานที่ได้รับมอบหมาย

1.2.3 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview)

2. หาคุณภาพเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย

2.1 เครื่องมือประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษาจากแผนการจัดกิจกรรม ประกอบด้วย

2.1.1 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.1.2 แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.2 เครื่องมือประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)*ประกอบด้วย

2.2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก โดยผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 การนำกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 42 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 146 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ สังกัดเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 42 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 50 คน โดยการอาสาสมัครเนื่องจากเป็นรูปแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาดังนั้นจึงเลือกนักเรียนที่เรียนรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเท่านั้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ คือ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่

2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

2.3 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ คือ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านแนวทางสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

1.1 ลักษณะของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีลักษณะดังนี้

1.1.1 องค์ประกอบของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมี 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นคู่มือครู ประกอบด้วย คำแนะนำ คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน ขั้นตอนการจัดกิจกรรมสะเต็ม แผนการดำเนินกิจกรรม และตัวอย่างการบันทึกใบกิจกรรม

ส่วนที่ 2 เป็นชุดกิจกรรมสำหรับนักเรียน ประกอบด้วย ใบกิจกรรม และใบความรู้ของกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

1.1.2 รายละเอียดของชุดกิจกรรม

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผู้วิจัยได้นำเนื้อหา เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มาใช้ในการจัดกิจกรรมค่ายสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย คู่มือครู คำแนะนำ คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน แผนการดำเนินกิจกรรม และเฉลยใบกิจกรรม

1.2 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.2.1 ศึกษาหลักการและทำความเข้าใจการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

1.2.2 ศึกษาหลักสูตรของสถานศึกษา คำอธิบายรายวิชา ผลการเรียนรู้ โครงสร้างรายวิชา และมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

1.2.3 ศึกษารายละเอียดเนื้อหารายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เพื่อนำมาสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

1.2.4 กำหนดสาระการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ที่ใช้จัดกิจกรรม ให้เหมาะสมกับเวลา เพื่อนำมาสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

1.2.5 ดำเนินการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ร่วมกับการใช้ชุดพัฒนาการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนาม

1.2.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ความสอดคล้องของเนื้อหากับกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา และความเหมาะสมของระยะเวลาในการจัดกิจกรรม

1.2.7 นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขแล้วให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบอีกหนึ่งครั้ง

1.2.8 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ความสอดคล้องของเนื้อหากับกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ความเหมาะสมของระยะเวลาในการจัดกิจกรรม ข้อบกพร่องของการจัดการเรียนรู้ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากนั้นนำมาแก้ไขปรับปรุง

1.2.9 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 6-8 คน โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำข้อบกพร่องมาใช้ในการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) เทคนิคในการดำเนินการจัดการเรียนรู้

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

3) การเตรียมการในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1.2.10 นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้แล้วนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่

2.1 แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย ใช้การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้แบบตรวจสอบรายการ (Checklists) โดยครูมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.1.1 ศึกษาเอกสารทฤษฎี แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการกำหนดกรอบพฤติกรรมของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2.1.2 กำหนดรายพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ต้องสังเกตใน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการระบุปัญหา 2) ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) ด้านการวางแผนและพัฒนา 4) ด้านการทดสอบและประเมินผล และ5) ด้านการนำเสนอผลลัพธ์ และกำหนดเกณฑ์ในการปฏิบัติ

2.1.3 สร้างแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในลักษณะแบบตรวจสอบรายการ (Checklists) ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด แล้วให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงทางด้านเนื้อหา โครงสร้างและภาษาที่ใช้ และแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.1.4 นำแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสมของข้อคำถามโดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง

2.1.5 นำแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สร้างขึ้นไปปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้วเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

2.1.6 นำแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สร้างขึ้นไปจัดพิมพ์เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ในการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

2.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก ใช้การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้แบบตรวจสอบรายการ (Checklists) มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.2.1 ศึกษาเอกสารทฤษฎี แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการกำหนดกรอบพฤติกรรมของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2.2.2 กำหนดรายพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมใน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการระบุปัญหา 2) ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) ด้านการวางแผนและพัฒนา 4) ด้านการทดสอบและประเมินผล และ5) ด้านการนำเสนอผลลัพธ์และกำหนดเกณฑ์ในการปฏิบัติ

2.2.3 สร้างแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในลักษณะแบบตรวจสอบรายการ (Checklists) ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด แล้วให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงทางด้านเนื้อหา โครงสร้างและภาษาที่ใช้ และแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.2.4 นำแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสมของข้อคำถามโดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง

2.2.5 นำแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สร้างขึ้นไปปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้วเลือกข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

2.2.6 นำแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สร้างขึ้นไปจัดพิมพ์เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง หลังจากจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

2.3 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

แบบสัมภาษณ์นักเรียนหลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษามีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดเป็นกรอบแนวคิดในการสร้างแบบสัมภาษณ์

2.3.2 กำหนดประเด็นคำถามในแบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2.3.3 การสร้างข้อคำถามที่ใช้สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างซึ่งแนวคำถามที่นำมาใช้ในการสัมภาษณ์ต้องครอบคลุมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม ใน 5

ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการระบุปัญหา 2) ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) ด้านการวางแผนและพัฒนา 4) ด้านการทดสอบและประเมินผล และ5) ด้านการนำเสนอผลลัพธ์

2.3.4 คำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย

1) กลุ่มของนักเรียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ว่าอย่างไร

2) กลุ่มนักเรียนมีวิธีการในการค้นหาแนวคิดหรือความรู้ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

3) กลุ่มของนักเรียนมีการวางแผนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

4) กลุ่มของนักเรียนมีการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ของตนอย่างไร และนักเรียนมีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองหรือไม่ถ้ามีเพราะอะไร

5) นักเรียนมีวิธีการนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองอย่างไร

วิธีดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยชี้แจงรายละเอียดในหนังสือยินยอมการเข้าร่วมในการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมในการวิจัยทราบและลงนามแสดงความสมัครใจการเข้าร่วมวิจัย

2. แนะนำขั้นตอนการทำกิจกรรมและบทบาทของนักเรียนในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

3. ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ปรับปรุง และแก้ไขแล้วจำนวน 8 คาบ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตัวเอง

4. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยดำเนินการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถในด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากแบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย และแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก ตามแบบประเมินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ปรับปรุง และแก้ไขแล้ว พร้อมกับประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนด้วยแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าสถิติพื้นฐาน เช่น ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean)

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การประเมินและการสัมภาษณ์มาตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มารวบรวมจัดระบบให้เป็นหมวดหมู่ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสร้างข้อสรุปตามหัวข้อที่กำหนด แล้วนำเสนอผลเชิงบรรยาย

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การหาค่า t-test จากการพัฒนาและประเมินหาประสิทธิภาพของชุดพัฒนาการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนาม (สราวุฒิ สมนาม,2557)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม (Pooled standard deviation; S_p) หาได้จาก

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1}(X_i - \overline{X}_1)^2 + \sum_{j=1}^{N_2}(X_j - \overline{X}_2)^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

โดย $\overline{X}_1$ และ $\overline{X}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐานและวิธีที่ต้องการทดสอบตามลำดับ

X_i และ X_j คือ ค่าที่วัดได้แต่ละครั้งจากวิธีมาตรฐานและวิธีที่ต้องการทดสอบตามลำดับ

N_1 คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองโดยวิธีมาตรฐาน

N_2 คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองโดยวิธีที่ต้องการทดสอบ

ค่า t-test หาได้จาก

$$\pm t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{S_P}\sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

เมื่อ t มีระดับขั้นความเสรีคือ $N_1 + N_2 - 2$

2. ค่าเฉลี่ย โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2546)

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

เมื่อ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมของคะแนน

N แทน จำนวนผู้เรียน

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

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมกับจุดประสงค์

R แทน คะแนนของผู้เชี่ยวชาญ

$\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การให้คะแนน

ผู้เชี่ยวชาญให้ช่องเหมาะสม = 1 คะแนน

ผู้เชี่ยวชาญให้ช่องไม่เหมาะสม = -1 คะแนน

ผู้เชี่ยวชาญให้ช่องไม่แน่ใจ = 0 คะแนน

ค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาและมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามแลประเมินประสิทธิภาพโดยเทียบกับวิธีมาตรฐาน (2) ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา (3) ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ซึ่งได้แบ่งการดำเนินการวิจัย 3 ตอน ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายสำหรับใช้ในภาคสนาม

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาและประเมินหาประสิทธิภาพของชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามซึ่งพัฒนาจากวิธีมาตรฐาน Azide Modification of Iodometric Method โดยการลดอัตราส่วนของความเข้มข้นและปริมาณสารที่ใช้ในการทดลองให้น้อยลงและใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายโดยในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เหมาะสมและการทดสอบชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำใช้ขวด BOD ขนาด 60 มิลลิลิตร ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต 10 มิลลิลิตร ใช้หลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตรแทนบิวเรต และขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตรแทนขวดรูปชมพู และปรับความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจนค่าที่อ่านได้เท่ากับวิธีมาตรฐาน และเปลี่ยนขวดเก็บตัวอย่างน้ำเป็นขวด BOD 60 มิลลิลิตร เป็นขวดแก้วใสขนาด 60 มิลลิลิตรและทำการประเมินชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามที่เตรียมขึ้นโดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีมาตรฐาน Azide Modification of Iodometric Method ซึ่งการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำจากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์และมหาวิทยาลัยบูรพา ได้ผลการทดลองดังนี้

1. สำรวจคุณภาพน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยใช้การตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric Method

การสำรวจปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ได้ทำการสำรวจในช่วงเดือนมกราคม 2558 จากตัวอย่างแหล่งน้ำ 3 บริเวณ ดังนี้ 1.น้ำประปาโรงเรียน 2.สระน้ำหลังห้องสมุด และ 3.ท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู โดยใช้วิธี Azide Modification of Iodometric Method (การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ใช้วิธีการของ กรมอนามัย, 2537 อ้างอิงจาก Standard Methode) โดยเก็บน้ำตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ พบว่า น้ำประปาโรงเรียน น้ำสระน้ำหลังห้องสมุด และ น้ำท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเท่ากับ 7.60, 4.20 และ 0.40 mg/L ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ (n=3) (ตารางที่ 1 ภาคผนวก ก)

บริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำ	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)
1.น้ำประปาโรงเรียน	7.60
2. สระน้ำหลังห้องสมุด	4.20
3. ท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู	0.40

2. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างน้ำที่โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์จากแหล่งน้ำ 2 บริเวณ ได้แก่ น้ำสระน้ำและน้ำประปา พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากค่า t-Test ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N จากตัวอย่างน้ำประปาและตัวอย่างน้ำสระน้ำโรงเรียน มีค่า t-Test เท่ากับ 0.53 และ -0.39 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าในตารางจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดลองทั้งสองวิธีที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4-2 และ 4-3

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0012 N, 0.0011 N และ 0.0010 N ตามลำดับ (n=6) (ตารางที่ 2 ภาคผนวก ก)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
	ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
0.0012	6.12	6.17	-2.24	-2.57
0.0011	6.32	6.31	0.53	2.57
0.0010	7.54	6.38	42.55	2.57

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำสระน้ำโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0012 N, 0.0011 N และ0.0010 N ตามลำดับ (n=6) (ตารางที่ 3 ภาคผนวก ก)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
	ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
0.0012	0.77	0.73	1.34	2.57
0.0011	0.62	0.63	-0.39	-2.57
0.0010	0.79	0.68	3.34	2.57

3. การประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายสำหรับใช้ในภาคสนามที่เตรียมขึ้นจากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N

3.1 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจากการตรวจวัดระหว่างวิธีวิเคราะห์มาตรฐานกับชุดตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เตรียมขึ้น

ทำการทดลองหาค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจากตัวอย่างน้ำที่มหาวิทยาลัยบูรพาจากแหล่งน้ำ 2 บริเวณ ได้แก่ที่บริเวณสระน้ำมหาวิทยาลัยบูรพา และน้ำประปามหาวิทยาลัยบูรพา และเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตจากผลการทดลองในข้อ 2 มาใช้กับชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำที่เตรียมขึ้นคือ ความเข้มข้น 0.0011 N และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน Azide Modification of Iodometric Method ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N และทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 27 เมษายน 2558 – 3 พฤษภาคม 2558 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า t-Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลจาก ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากค่า t-Test ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 จากตัวอย่างแหล่งน้ำประปามหาวิทยาลัยบูรพา มีค่า t-Test เท่ากับ 0.04 ส่วนน้ำบริเวณสระน้ำมหาวิทยาลัยบูรพา มีค่า t-Test เท่ากับ 0.11 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าในตารางจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดลองทั้งสองวิธี ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4-4 และ 4-5

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำประปามหาวิทยาลัยบูรพาโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N ตั้งแต่วันที่ 27 เมษายน 2558 – 3 พฤษภาคม 2558 (n=3)

วัน/เดือน/ปี	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
27/4/58	1	6.10	6.10		
28/4/58	2	6.20	6.20		
29/4/58	3	6.07	6.05		
30/4/58	4	5.63	5.60	0.04	2.45
1/5/58	5	5.90	5.90		
2/5/58	6	5.43	5.40		
3/5/58	7	5.00	5.00		

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำสระน้ำมหาวิทยาลัยบูรพาโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N ตั้งแต่วันที่ 27 เมษายน 2558 – 3 พฤษภาคม 2558 (n=3)

วัน/เดือน/ปี	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
27/4/58	1	0.40	0.40		
28/4/58	2	0.30	0.30		
29/4/58	3	0.00	0.00		
30/4/58	4	0.12	0.10	0.11	2.45
1/5/58	5	0.30	0.30		
2/5/58	6	0.05	0.05		
3/5/58	7	0.00	0.00		

3.2 เปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำระหว่างวิธีวิเคราะห์มาตรฐานกับชุดตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นโดยเปลี่ยนขวดเก็บตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ขนาด 60 มิลลิลิตร เป็นขวดแก้วใสขนาด 60 มิลลิลิตร

ทำการทดลองหาค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจากตัวอย่างน้ำที่โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์จากแหล่งน้ำ 2 แหล่ง ที่บริเวณสระน้ำ และน้ำประปาโรงเรียน และเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต มาใช้กับชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้น คือ 0.0011 N และเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน Azide Modification of Iodometric Method ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N และทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม 2558 – 24 พฤษภาคม 2558 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า t-Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากค่า t-Test จากตัวอย่างน้ำประปาและตัวอย่างสระน้ำมีค่า t-Test เท่ากับ 0.30 และ 0.31 ตามลำดับซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าในตารางจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดลองทั้งสองวิธี ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4-6 และ 4-7

ตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำประปาโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม 2558 – 24 พฤษภาคม 2558 (n=3)

วัน/เดือน/ปี	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
18/5/58	1	6.80	6.80		
19/5/58	2	6.20	6.20		
20/5/58	3	6.20	6.10		
21/5/58	4	6.30	6.20	0.30	2.45
22/5/58	5	6.40	6.40		
23/5/58	6	6.70	6.60		
24/5/58	7	6.30	6.30		

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำบริเวณสระน้ำโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0011 N ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม 2558– 24 พฤษภาคม 2558 (n=3)

วัน/เดือน/ปี	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
18/5/58	1	1.20	1.20		
19/5/58	2	1.30	1.20		
20/5/58	3	1.30	1.30		
21/5/58	4	1.00	1.00	0.31	2.45
22/5/58	5	0.80	0.80		
23/5/58	6	1.10	1.10		
24/5/58	7	1.00	0.90		

ตอนที่ 2 ผลการออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้นำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา โดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เพื่อศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย

1) แผนการสอน เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

2) ใบกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย ประกอบด้วย

2.1) ใบความรู้ที่ 1 เรื่อง ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)

2.2) ใบงานการทดลองที่ 1 เรื่อง การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์

2.3) ใบงานการทดลองที่ 2 เรื่อง การศึกษาปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์

2.4) ใบงานการทดลองที่ 3 เรื่อง การศึกษาค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียน

3) แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

4) ใบงาน เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

5) แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

6) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

2. หาคุณภาพเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินรูปแบบของกิจกรรมโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งประกอบด้วย

1) เครื่องมือประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษาจากแผนการจัดกิจกรรมและใบกิจกรรม
ประกอบด้วย

1.1) แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ)

1.2) แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด)

2) เครื่องมือประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย

2.1) แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

2.2) แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีและสะเต็มศึกษาจำนวน 5 ท่าน (ตารางที่1- 4 ภาคผนวก ง) ตรวจสอบประเมินรูปแบบของกิจกรรมโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-8 – 4-11

ตารางที่ 4-8 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย (ตารางที่ 1 ภาคผนวก ง)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)					ผลรวม $\sum \mathbf{R}$	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	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	0	+1	+1	4	0.80	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	0	0	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) ในตารางที่ 4-8 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ตารางที่ 4-9 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) โดยผู้เชี่ยวชาญ กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย(ตารางที่ 2 ภาคผนวก ง)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)					ผลรวม	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5	$\sum \mathbf{R}$		
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	0	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
7	+1	+1	0	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
8	+1	+1	0	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
9	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
10	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	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	0	3	0.60	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) ในตารางที่ 4-9 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ตารางที่ 4-10 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)* โดยผู้เชี่ยวชาญกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย (ตารางที่ 3 ภาคผนวก ง)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)					ผลรวม $\sum \mathbf{R}$	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	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	0	+1	+1	4	0.80	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	0	+1	+1	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
12	0	+1	+1	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
13	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
14	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในตารางที่ 4-10 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย ที่ออกแบบขึ้นมีความสอดคล้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 4-11 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญ จากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่มDOแบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก(ตารางที่ 4 ภาคผนวก ง)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ (คนที่)					ผลรวม $\sum \mathbf{R}$	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	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	3	0.60	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	3	0.60	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	0	0	+1	+1	0	2	0.40	ไม่สอดคล้อง
15	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
16	0	+1	+1	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
17	0	+1	+1	+1	0	3	0.60	สอดคล้อง
18	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง
19	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง

เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก ในตารางที่ 4-11 พบว่า มีค่า

ดัชนีความสอดคล้องส่วนมากอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงว่าแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีความสอดคล้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ยกเว้นข้อที่ 14 มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.40 แสดงว่าไม่มีความสอดคล้อง ไม่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ตอนที่ 3 ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

ผู้วิจัยได้ศึกษาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม ใน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการระบุปัญหา 2) ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) ด้านการวางแผนและพัฒนา 4) ด้านการทดสอบและประเมินผล 5) และด้านการนำเสนอผลลัพธ์ โดยศึกษาในระหว่างการสอนกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย และจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก และผู้วิจัยขอยกตัวอย่างเนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนปรากฏผลดังนี้

1. กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ผู้วิจัยได้สังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้านของนักเรียนเป็นรายกลุ่มปรากฏผลดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ผลการสังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้านของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย(ตารางที่ 2 ภาคผนวก จ)

ที่	ด้านการประเมิน	คะแนนเฉลี่ยร้อยละ	ระดับคุณภาพ
1.	ระบุปัญหา	85.71	ดีมาก
2.	ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	91.43	ดีมาก
3.	วางแผนและพัฒนา	85.71	ดีมาก
4.	ทดสอบและประเมินผล	78.57	ดี
5.	นำเสนอผลลัพธ์	100.00	ดีมาก
	เฉลี่ยทั้ง 5 ด้าน	88.28	ดีมาก

ตารางที่ 4-12 ผลการสังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม จากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย พบว่า รายการที่ประเมินจำนวน 5 ด้านได้แก่ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์ มีผลการประเมินเฉลี่ยทั้ง 5 ด้านอยู่ในระดับ ดีมาก คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 88.28 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 78.57 – 100% โดยในแต่ละด้านมีผลการสังเกตพฤติกรรมกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม แสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก จ และสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4-12 พบว่า

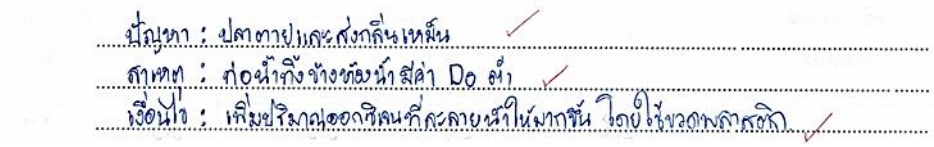
1.1 ด้านการระบุปัญหา

1) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) สามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้แต่มี นักเรียนจำนวน 1 กลุ่มได้แก่กลุ่มที่ 7 (ร้อยละ 14.29%) ระบุปัญหาไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้

2) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) สามารถระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มได้แก่กลุ่มที่ 7 (ร้อยละ 14.29%) ระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการให้นักเรียนศึกษาข้อมูลจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ แล้วทำการวิเคราะห์สิ่งที่เป็นปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา เพื่อให้นักเรียนหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดและจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการระบุปัญหาปรากฏผลดัง (ตารางที่ 3 ภาคผนวก จ) พบว่าการระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$=1.86, S.D. = 0.38, 92.86%) และผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียดังภาพที่ 4-1

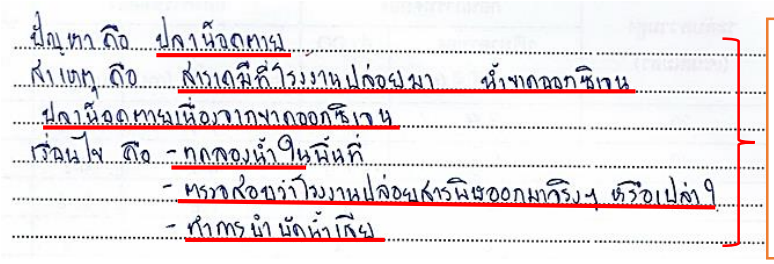
1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนสามารถระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ได้อย่างไร



ภาพที่ 4-1 การเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขของกลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 2 นักเรียนกลุ่มที่ 2 สามารถเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดโดยนักเรียนระบุว่า ปัญหา : ปลาตายและส่งกลิ่นเหม็น สาเหตุ : ท่อน้ำทิ้งข้างห้องน้ำมีค่า DO ต่ำ และเงื่อนไข : เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้มากขึ้นโดยใช้ขวดพลาสติกเมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนมีความสอดคล้องกับสถานการณ์และระบุข้อมูลได้ครบถ้วนนักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนนเต็มคือ 2 คะแนน แต่มีนักเรียนบางกลุ่มที่เขียนระบุปัญหาเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ดังภาพที่ 4-2

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนสามารถระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ได้อย่างไร



คำตอบนี้ไม่ได้คะแนน เนื่องจากระบุปัญหา สาเหตุ และเงื่อนไขไม่ตรงสถานการณ์ที่กำหนด

ภาพที่ 4-2 การเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขกลุ่มที่ 7 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-2 พบว่านักเรียนมีการระบุปัญหาและเงื่อนไขแต่ไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดโดยนักเรียนเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากตัวอย่างข่าวที่นักเรียนทำกิจกรรมในช่วงแรก ซึ่งถ้านักเรียนมีการเขียนระบุปัญหาแต่ไม่สอดคล้องกับสถานการณ์นักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนน1 คะแนน ผู้วิจัยจึงให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเป็นรายกลุ่มในกลุ่มที่ 7 กับนักเรียนและใบกิจกรรมเกี่ยวกับประเด็นที่ยังไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดโดยให้คำเสนอแนะว่านักเรียนจะต้องเขียนระบุข้อมูลของปัญหาและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องจากสถานการณ์ที่กำหนดจากใบกิจกรรมของนักเรียน

1.2 ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องตามกิจกรรม

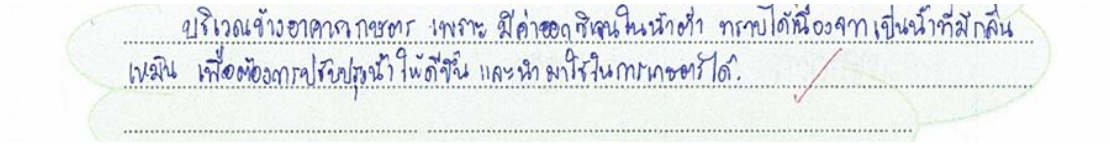
2) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%)ได้ทำการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามใบกิจกรรมเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม

3) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลอง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียกับเพื่อนในกลุ่มก่อนออกแบบสิ่งประดิษฐ์

4) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียอย่างน้อย 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม

5) นักเรียนจำนวน 4 กลุ่ม (ร้อยละ 57.14%) มีการเลือกระดับความสูงและจำนวนระดับชั้นของขวดน้ำที่ปล่อยให้น้ำไหลลงมาตามที่นักเรียนเลือกสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด และผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกลุ่มที่ 2 พบว่าแหล่งน้ำที่นักเรียนเลือกใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำดังภาพที่ 4-3 ได้แก่แหล่งน้ำบริเวณข้างอาคารเกษตร เพราะ มีค่าออกซิเจนในน้ำต่ำ ซึ่งนักเรียนได้ข้อมูลจากการตรวจวัดค่าDO

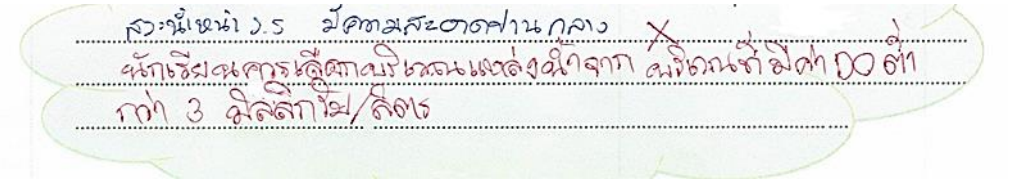
13. แหล่งน้ำในบริเวณใดที่นักเรียนเลือกเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำ เพราะเหตุใด



ภาพที่ 4-3 การเลือกแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนของกลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

และนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (ร้อยละ 42.85%) ที่เลือกแหล่งน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกลุ่มที่ 3 พบว่าแหล่งน้ำที่นักเรียนเลือกใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำดังภาพที่ 4-4 ได้แก่แหล่งน้ำบริเวณสระน้ำหน้าโรงเรียนเพราะมีความสะอาดปานกลาง ซึ่งจากการเขียนลงในใบกิจกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนไม่ได้เลือกแหล่งน้ำจากการตรวจวัดค่า DO ที่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ผู้วิจัยจึงให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเป็นรายกลุ่มในกลุ่มกับนักเรียนเกี่ยวกับประเด็นที่ยังเลือกแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ไม่สอดคล้องกับการตรวจวัดปริมาณของค่า DO ในแหล่งน้ำโดยให้คำเสนอแนะว่านักเรียนควรเลือกบริเวณแหล่งน้ำจากการตรวจวัดค่า DO จากบริเวณแหล่งน้ำที่มีค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

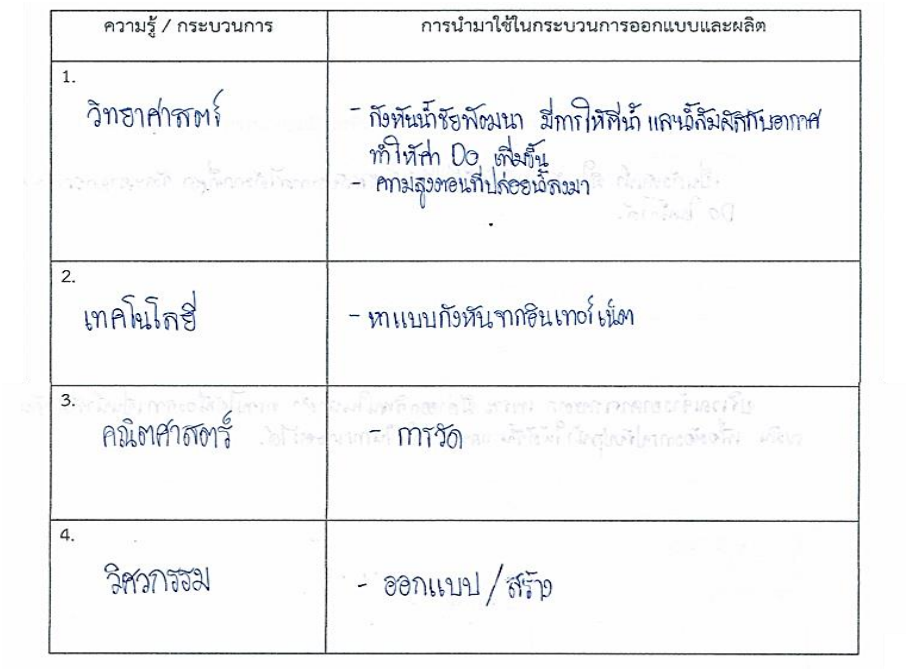
13. แหล่งน้ำในบริเวณใดที่นักเรียนเลือกเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำ เพราะเหตุใด



ภาพที่ 4-4 การเลือกแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนของกลุ่มที่ 3 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า นักเรียนสามารถค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมที่กำหนดให้ได้ ซึ่งจากการขั้นตอนที่นักเรียนได้ระบุปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้แล้ว ในขั้นตอนนี้นักเรียนต้องดำเนินการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการทดลองตามกิจกรรมที่กำหนดให้ และทำการศึกษาใบความรู้ต่าง ๆ จากใบความรู้หรืออินเทอร์เน็ต และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องปรากฏผลดัง (ตารางที่ 3 ภาคผนวก จ) พบว่าการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=1.86, S.D. = 0.38, 92.86%) ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียดังภาพที่ 4-5

14. ยกตัวอย่างพร้อมอธิบายความรู้หรือกระบวนการที่นำมาใช้ในการออกแบบและผลิตสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เติมออกซิเจนในน้ำ มา 3 ตัวอย่าง



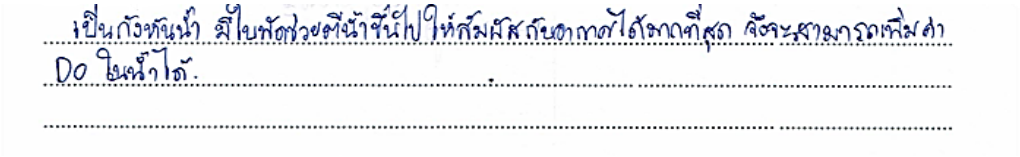
ความรู้ / กระบวนการ	การนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต
1. วิทยาศาสตร์	- กังหันน้ำชัยพัฒนา มีการให้ตีน้ำ และน้ำสัมผัสอากาศ ทำให้ค่า Do เพิ่มขึ้น - ความสูงของที่ปล่อยน้ำลงมา
2. เทคโนโลยี	- หาแบบกังหันจากอินเทอร์เน็ต
3. คณิตศาสตร์	- การวัด
4. วิศวกรรม	- ออกแบบ / สร้าง

ภาพที่ 4-5 การเขียนความรู้หรือกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-5 นักเรียนกลุ่มที่ 2 สามารถเขียนอธิบายความรู้ที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดโดยนักเรียนมีการระบุความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทดลองคือความสูงของน้ำที่ปล่อยลงมา และจากการสืบค้นคือกังหันน้ำชัยพัฒนามีการให้ตีน้ำและน้ำสัมผัสอากาศทำให้ค่า DOเพิ่มขึ้น ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีคือการหาแบบกังหันจากอินเทอร์เน็ต ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ใช้การวัด และความรู้ทางด้านวิศวกรรมคือการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ จะเห็นได้ว่านักเรียนสืบค้นข้อมูลประกอบการทำกิจกรรมได้ครบถ้วนนักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนนเต็มคือ 2 คะแนน

และหลังจากที่นักเรียนได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง และรวบรวมความรู้ที่ได้จากการศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหาหรือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย โดยพิจารณาถึงความคุ้มทุน ความเป็นไปได้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ ข้อดีข้อด้อย เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหานักเรียนจะได้แนวทางที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ดังภาพที่ 4-6

15. อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำที่จะสร้างเพื่อแก้ปัญหาในข้อ 1 ควรมีลักษณะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด



ภาพที่ 4-6 การเขียนแนวทางที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

1.3 ด้านการวางแผนและพัฒนา

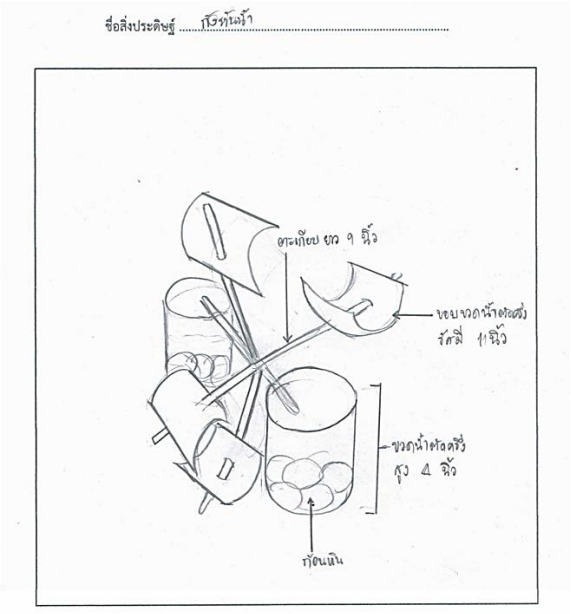
1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ

2) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) มีการระบุรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในแบบร่าง และนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ที่ไม่ระบุรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ลงในแบบร่าง

3) นักเรียนจำนวน 5 กลุ่ม (ร้อยละ 71.43%) มีการดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียตามที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ และนักเรียนจำนวน 2 กลุ่ม (ร้อยละ 28.57%) มีการดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียแต่ไม่ได้ทำตามแบบที่ออกแบบและวางแผนไว้

ในขั้นตอนนี้นักเรียนต้องวางและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์หลังจากที่ได้มีการเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาแล้ว นักเรียนมีการออกแบบ วาดภาพร่างสิ่งประดิษฐ์โดยในภาพร่างมีการระบุวัสดุอุปกรณ์ สัดส่วนที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด แล้วดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการวางแผนและการออกแบบชิ้นงานปรากฏผลดัง (ตารางที่ 3 ภาคผนวก จ) พบว่าการวางแผนและการออกแบบชิ้นงานมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =1.86, S.D. = 0.38, 92.86%) และผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการการออกแบบชิ้นงานจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียดังภาพที่ 4-7

16. ภาพร่างแบบอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำที่จะสร้างพร้อมระบุขนาดสัดส่วนของสิ่งประดิษฐ์ รวมทั้งอธิบายรายละเอียดอื่น ๆ



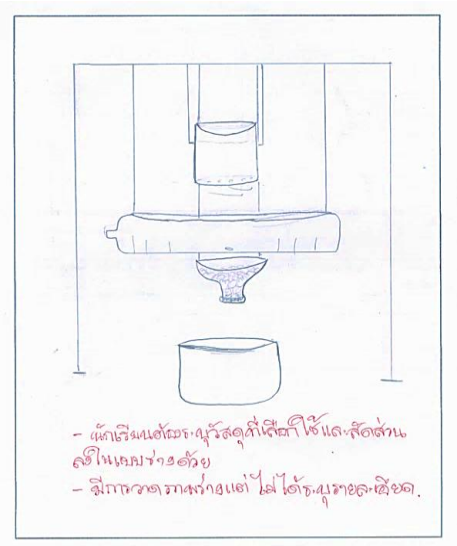
ภาพที่ 4-7 การเขียนภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-7 นักเรียนกลุ่มที่ 2 สามารถเขียนภาพร่างในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำพร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และสัดส่วนลงในแบบร่างได้อย่างชัดเจนจะเห็นได้ว่านักเรียนออกแบบและเขียนภาพร่างได้ครบถ้วนนักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนนเต็มคือ 2 คะแนน และนักเรียนได้ทำตามแบบร่างที่ออกแบบไว้ดังภาพที่ 4-8

ภาพที่ 4-8 สิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของกลุ่มที่ 2สร้างขึ้น กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

และจากการประเมินใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนพบว่ามีนักเรียนบางกลุ่มที่ไม่ได้ระบุรายละเอียดลงในแบบร่างดังภาพที่ 4-9

16. ภาพร่างแบบอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำที่จะสร้างพร้อมระบุขนาดสัดส่วนของสิ่งประดิษฐ์ รวมทั้งอธิบายรายละเอียดอื่น ๆ



ภาพที่ 4-9 การเขียนภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 3 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-9 นักเรียนกลุ่มที่ 3 มีการเขียนภาพร่างในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำแต่นักเรียนไม่มีการระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และสัดส่วนลงในแบบร่าง ซึ่งถ้านักเรียนมีการวาดภาพร่างแต่ไม่มีการระบุรายละเอียดให้ครบถ้วนสมบูรณ์นักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนน 1 คะแนน ผู้วิจัยจึงให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเป็นรายกลุ่มกับนักเรียนเกี่ยวกับประเด็นการระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และสัดส่วนลงในแบบร่างให้ละเอียดและชัดเจนโดยให้คำเสนอแนะว่านักเรียนต้องระบุวัสดุที่เลือกใช้และสัดส่วนลงในแบบร่างด้วยและมีนักเรียนจำนวน 2 กลุ่ม (ร้อยละ 28.57%) มีการดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียได้แต่ไม่ได้ทำตามแบบที่ออกแบบและวางแผนไว้แต่สิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนสร้างขึ้นมีบางส่วนที่ยังมีรูปแบบที่เหมือนในภาพร่าง ดังภาพที่ 4-10

ภาพที่ 4-10 สิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของกลุ่มที่ 3สร้างขึ้น กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-10 เป็นภาพสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของกลุ่มที่ 3 สร้างขึ้น โดยมีการปรับเปลี่ยนจากภาพร่างโดยมีการลดจำนวนชั้นของสิ่งประดิษฐ์ซึ่งดูจากภาพร่างดังภาพที่ 4-9 มีจำนวน 3 ชั้นและใส่ก้อนหินในชั้นล่างสุด แต่สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมีจำนวน 2 ชั้นและใส่ก้อนหินในชั้นล่างสุดและนักเรียนใช้วิธีการเพิ่มระยะห่างของชั้นที่ 1 และ 2 ให้มากขึ้น

1.4 ด้านการทดสอบและประเมินผล

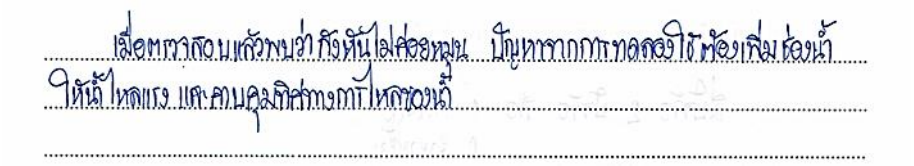
1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการทดสอบและสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริง

2) นักเรียนจำนวน 4 กลุ่ม (ร้อยละ 57.14%) มีการทดสอบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยครั้งแรกสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยนักเรียนจึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด และนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (ร้อยละ 42.85%) ไม่มีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มาก

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถทำการทดสอบและประเมินผลสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนนี้นักเรียนต้องทำการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ หลังจากที่ได้ทำการวางแผนและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริง และจากขั้นตอนการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น มีนักเรียนจำนวน 3 กลุ่ม (ร้อยละ 42.85%) ไม่มีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามเกณฑ์ที่กำหนด และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำปรากฏผลดัง (ตารางที่ 3 ภาคผนวก จ) พบว่าการทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานมีผลการประเมินอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ =1.57, S.D. = 0.53, 78.57%) โดยสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มนักเรียน

ส่วนใหญ่สามารถเพิ่มค่า DO ได้มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรและผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานสิ่งประดิษฐ์ ดังภาพที่ 4-11

18. อธิบายการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ (กรณีที่ผลการทดสอบไม่บรรลุผลตามที่ต้องการหรือมีการปรับปรุงชิ้นงาน)



ภาพที่ 4-11 การเขียนปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

1.5 ด้านการนำเสนอผลลัพธ์

1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการสาธิตและอธิบายการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

2) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียได้ครบถ้วน

ภาพที่ 4-12 การสาธิตการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

จากภาพที่ 4-12 และข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถนำเสนอผลลัพธ์ได้และสามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียได้ครบถ้วน และจากการวิเคราะห์ชิ้นงานและการนำเสนอของนักเรียนปรากฏผลดัง (ตารางที่ 4 ภาคผนวก จ) พบว่าการนำเสนอผลงานของนักเรียนมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$=3.00, S.D. = 0.00, 100%) โดยนักเรียนสามารถนำเสนอการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างเป็นขั้นตอนมีการอธิบายอย่างชัดเจนและนำแนวคิดมาใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างมีเหตุผล

จากการสังเกตพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้าน ซึ่งประกอบด้วยด้าน การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์

2. กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

ผู้วิจัยได้ประเมินด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้านของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกปรากฏผลดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้านของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก(ตารางที่ 6 ภาคผนวก จ)

ที่	ด้านการประเมิน	คะแนนเฉลี่ยร้อยละ	ระดับคุณภาพ
1.	ระบุปัญหา	95.24	ดีมาก
2.	ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	97.62	ดีมาก
3.	วางแผนและพัฒนา	100	ดีมาก
4.	ทดสอบและประเมินผล	100	ดีมาก
5.	นำเสนอผลลัพธ์	100	ดีมาก
	เฉลี่ยทั้ง 5 ด้าน	98.57	ดีมาก

ตารางที่ 14-13 ผลค่าเฉลี่ยร้อยละของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้าน จากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก พบว่า รายการที่ประเมินจำนวน 5 ด้านได้แก่ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์ มีผลการประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95.24% – 100% โดยแต่ละขั้นมีค่าระดับคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 98.57โดยในแต่ละด้านมีผลการวิเคราะห์ปรากฏในตารางที่ 6 ภาคผนวก จ ดังนี้

2.1 ด้านการระบุปัญหา

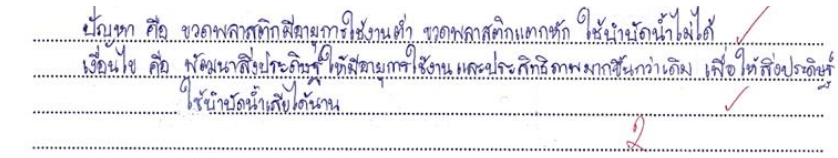
1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

2) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้ และนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้

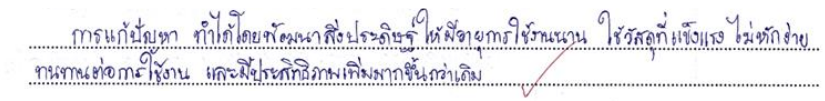
3) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการเขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่ โดยอิงจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้สามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการให้นักเรียนศึกษาข้อมูลจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ แล้วทำการวิเคราะห์สิ่งที่เป็นปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา และเขียนหัวข้อการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่ โดยอิงจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด เพื่อให้นักเรียนหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการระบุปัญหาปรากฏผลดัง (ตารางที่ 7 ภาคผนวก จ) พบว่าการระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =1.86, S.D. = 0.38, 92.86%) และผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกดังภาพที่ 4-13

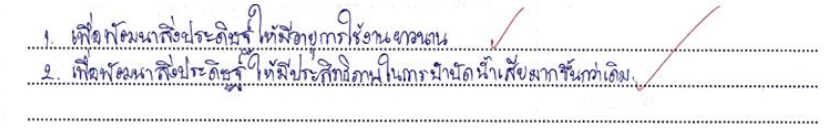
1. ปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์



2. ภารกิจในการแก้ปัญหา



3. จุดประสงค์



ภาพที่ 4-13 การเขียนปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดให้ของกลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

จากภาพที่ 4-13 นักเรียนกลุ่มที่ 2 สามารถเขียนระบุปัญหาและเงื่อนไขได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดเมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนมีความสอดคล้องกับสถานการณ์และระบุข้อมูลได้ครบถ้วนนักเรียนกลุ่มนี้จะได้คะแนนเต็มคือ 2 คะแนน และดังตัวอย่างการสัมภาษณ์นักเรียนโดยมีคำถามว่า กลุ่มของนักเรียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ว่าอย่างไร

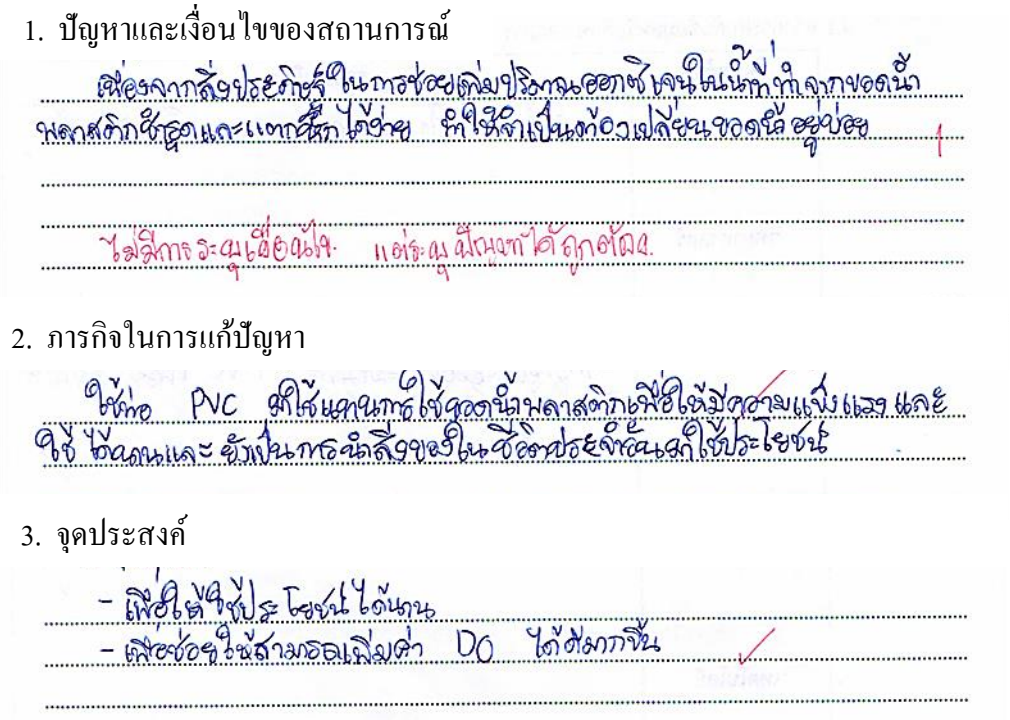
นักเรียน กลุ่มที่ 2 กล่าวว่า “ปัญหาคือขวดพลาสติกมีอายุการใช้งานต่ำขวดพลาสติกแตกง่ายใช้บำบัดน้ำไม่ได้ค่ะ เงื่อนไขคือพัฒนาสิ่งประดิษฐ์โดยห้ามใช้ขวดน้ำพลาสติกค่ะส่วนข้อจำกัดคือระยะเวลาทำสิ่งประดิษฐ์ไม่เกิน 2 สัปดาห์ค่ะ”

นักเรียน กลุ่มที่ 5 กล่าวว่า “ปัญหาคือขวดพลาสติกแตกง่ายค่ะจึงต้องใช้วัสดุอื่นสร้างสิ่งประดิษฐ์เงื่อนไขคือห้ามใช้ขวดน้ำพลาสติกและข้อจำกัดคือทำสิ่งประดิษฐ์ไม่เกิน 2 สัปดาห์ค่ะ”

นักเรียน กลุ่มที่ 7 กล่าวว่า “ปัญหาคือขวดพลาสติกใช้งานได้ไม่นานค่ะเงื่อนไขคือพัฒนาสิ่งที่ไม่ได้ทำมาจากขวดพลาสติกค่ะและต้องเพิ่มค่าDO ได้มากและใช้ได้นานกว่าค่ะข้อจำกัดใช้ระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์และใช้วัสดุที่ไม่ใช่ขวดพลาสติกและทนทานกว่าค่ะ”

และ นักเรียน กลุ่มที่ 1 กล่าวว่า “ปัญหาน้ำมีออกซิเจนต่ำ เราต้องการเพิ่มออกซิเจนโดยไม่ใช้พลาสติกค่ะเนื่องจากพลาสติกชำรุดและแตกหักง่ายค่ะ เงื่อนไขคือไม่ใช้พลาสติกและข้อจำกัด

ใช้ระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์ค่ะ” แต่จากใบบันทึกกิจกรรมของกลุ่ม 1 พบว่ามีการเขียนระบุปัญหาดังนี้ เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ในการช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ทำจากขวดน้ำพลาสติกชำรุดและแตกหักได้ง่ายทำให้จำเป็นต้องเปลี่ยนขวดน้ำอยู่บ่อย แต่นักเรียนไม่ได้เขียนระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดจากสถานการณ์ที่กำหนดให้และนักเรียนเขียนกำหนดภาระกิจในการแก้ปัญหาดังนี้ ใช้ท่อ PVC มาใช้แทนการใช้ขวดน้ำพลาสติกเพื่อให้มีความแข็งแรงและใช้ได้นานและยังเป็นการนำสิ่งของในชีวิตประจำวันมาใช้ประโยชน์ แสดงดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 การเขียนปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดให้ กลุ่มที่ 1 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ สามารถระบุปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ถูกต้อง และนักเรียนสามารถเขียนหัวข้อการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่ โดยอิงจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด แต่มีนักเรียนบางกลุ่มที่เขียนระบุปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้

2.2 ด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) ได้อภิปรายองค์ความรู้ที่จำเป็นในการนำมาใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้

2) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) ได้สืบค้นข้อมูลเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม

3) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) ได้ทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 การทดลอง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ และมีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ที่ไม่ได้ทำการทดลองเพื่อหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์แต่ทำการทดลองหาปริมาณของค่า DO ก่อนและหลังการทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์เพิ่มออกซิเจนในน้ำ

4) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) ดำเนินการอภิปรายองค์ความรู้และผลการทดลองกับเพื่อนในกลุ่ม

5) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) สามารถนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกอย่างน้อย 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม และนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ที่ไม่ร่วมแสดงความคิดเห็นหรืออภิปราย

6) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) ทำการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ และแนวคิดที่เลือกเป็นไปตามเงื่อนไขคือไม่ใช้พลาสติก และนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ที่ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ ไม่ได้ทำการทดลองเพื่อหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาเงื่อนไขและข้อจำกัดตามสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่นักเรียนได้ออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ ตามเงื่อนไขที่กำหนดคือไม่ใช้พลาสติก

หลังจากการที่นักเรียนได้ระบุปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา จากสถานการณ์ที่กำหนดให้แล้ว นักเรียนต้องดำเนินการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการทดลอง และความรู้ต่าง ๆ จากใบความรู้ หรืออินเทอร์เน็ต และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยรวบรวมความรู้ที่ได้จากการศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหา ตลอดจนการสร้างสิ่งประดิษฐ์ และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากข้อมูล ตารางที่ 7 ภาคผนวก จ พบว่าการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =1.86, S.D. = 0.38, 92.86%) ตัวอย่างการเขียนการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนกิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกแสดงดังภาพที่ 4-15

แนวคิดที่เกี่ยวข้อง

4.1 จากการสืบค้นข้อมูลหรือศึกษาเอกสาร

ข้อมูลด้าน	รายละเอียด
วิทยาศาสตร์	—ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในการหาค่า DO —ใช้ทักษะทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต
คณิตศาสตร์	—ใช้คณิตศาสตร์ในการคำนวณ วัดขนาด ของเครื่องมือที่ใช้ —ใช้คณิตศาสตร์ในการวัดขนาดของ สิ่งประดิษฐ์ ทั้งความกว้าง ความยาว ความสูง ฯลฯ
เทคโนโลยี	—ใช้เทคโนโลยีในการค้นคว้าข้อมูล —ใช้เทคโนโลยีในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์

ภาพที่ 4-15 การเขียนความรู้หรือกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

จากการสัมภาษณ์นักเรียนโดยมีคำถามว่า กลุ่มนักเรียนมีวิธีการในการค้นหาแนวคิดหรือความรู้ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

นักเรียนกลุ่มที่ 2 กล่าวว่า “เรามีการหาความรู้ที่ได้ใช้การทดลองจากการหาจำนวนชั้นและความสูงของน้ำค่ะ”และใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์คือ “พวกเราใช้หลักการกังหันน้ำชัยพัฒนามีการให้ตีน้ำและน้ำสัมผัสกับอากาศทำให้ค่า DO เพิ่มขึ้นค่ะ” ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์คือ “เราใช้การวัดความกว้างความยาวความสูงครับ” ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี “ผมใช้อินเทอร์เน็ตในการหาข้อมูล เช่น แบบกังหันน้ำครับ”

นักเรียนกลุ่มที่ 7 กล่าวว่า “เราใช้ความรู้ที่ทดลองจากการทดสอบจำนวนชั้นและความสูงของน้ำค่ะ”ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์คือ “วิธีการในการเพิ่มค่าDOโดยทำให้น้ำแตกตัวให้ออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปผิวน้ำและละลายอยู่ในน้ำค่ะและน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำค่ะ” ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์คือ “ใช้การวัดความกว้างความยาวความสูงแต่ละระดับชั้นค่ะ” ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี “เราใช้อินเทอร์เน็ตในการหาข้อมูล เช่น วัสดุอะไรบ้างที่ใช้ในการเพิ่มค่า DO ได้ค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 1 กล่าวว่า “พวกเราได้จากการทดลองการไหลของน้ำและความแรงของน้ำที่ไหลค่ะและใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์คือน้ำไหลกลับไปกลับมาเหมือนน้ำตกค่ะแล้วน้ำจะสัมผัสกับออกซิเจนความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์คือการใช้คำนวณพื้นที่ความกว้างความยาวความสูงและการกะประมาณค่ะ ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีใช้อินเทอร์เน็ตในการหาข้อมูลค่ะ เช่น กังหันน้ำเพื่อใช้หลักการไหลของน้ำมาใช้ในการออกแบบค่ะ” แต่จากการศึกษาการเขียนใบกิจกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนมีการเขียนการทดลองแต่เป็นการทดสอบการใช้สิ่งประดิษฐ์ก่อนและหลังการทดสอบไม่ใช่การทดลองเพื่อหาข้อมูลมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมที่กำหนดให้ได้ โดยการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้มาจากการทดลองการศึกษาใบความรู้ต่าง ๆ จากใบความรู้ หรืออินเทอร์เน็ต แล้ววิเคราะห์ผลการทดลอง และรวบรวมความรู้ที่ได้จากการศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหา หรือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โดยพิจารณาถึงความคุ้มทุน ความเป็นไปได้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ ข้อดีข้อด้อย เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา

2.3 ด้านการวางแผนและพัฒนา

1) นักเรียน 5 กลุ่ม (ร้อยละ 71.43%) ได้ปรึกษาและรายงานความคืบหน้าในการสร้างสิ่งประดิษฐ์กับครู ส่วนนักเรียนจำนวน 2 กลุ่ม (ร้อยละ 28.57%) ไม่มาพบครู

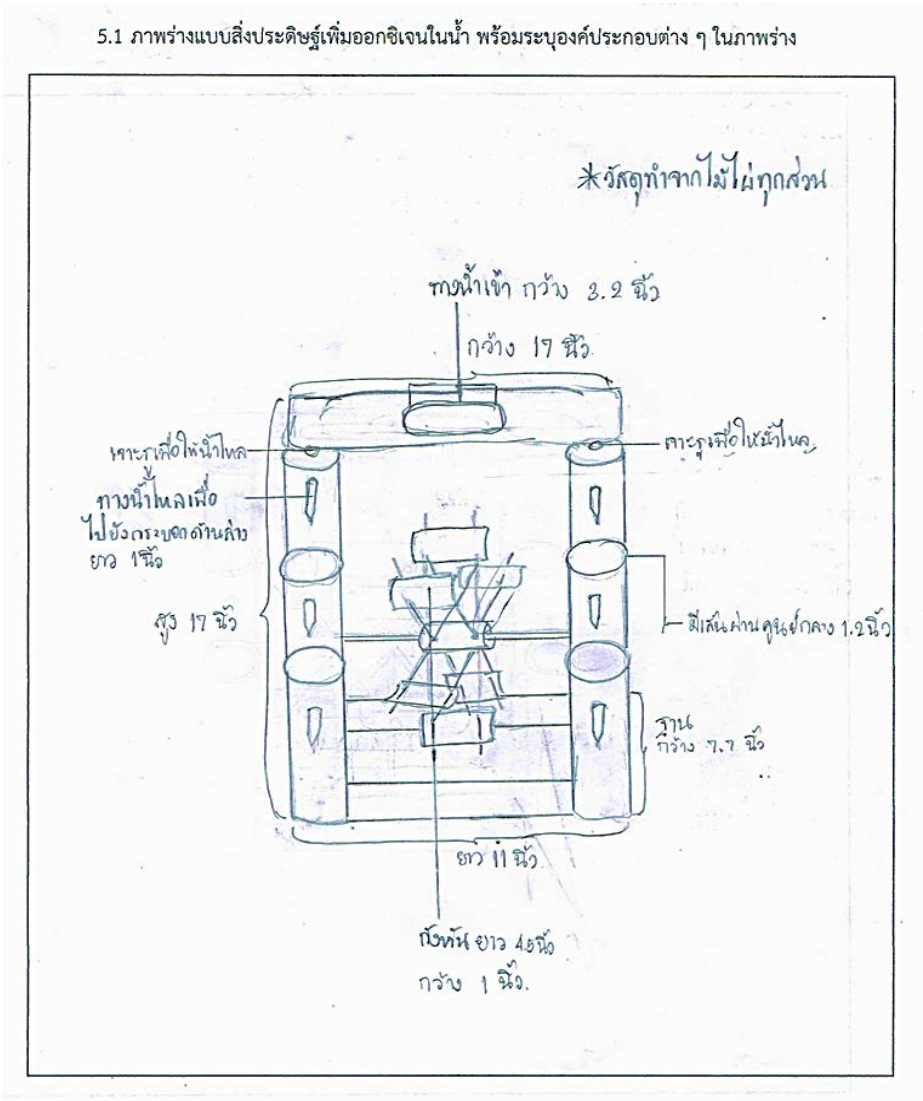
2) นักเรียน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) ได้ดำเนินการร่างแบบชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

3) นักเรียน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) มีการระบุรายละเอียดในแบบร่าง

4) นักเรียน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) สามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อเพิ่ม DO แบบใหม่โดยไม่ใช้พลาสติกตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

หลังจากการที่นักเรียนได้ดำเนินการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหา หรือการสร้างสิ่งประดิษฐ์แล้ว นักเรียนต้องวางแผนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเอง โดยต้องร่างภาพของสิ่งประดิษฐ์แล้วเลือกรูปแบบการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เหมาะสมพร้อมทั้งระบุรายละเอียดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และขนาดให้ชัดเจน และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านการออกแบบชิ้นงานปรากฏผลดัง ตารางที่ 7 ภาคผนวก จ การออกแบบชิ้นงานของนักเรียนมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =2.00, S.D. = 0.00, 100%) ตัวอย่างแบบชิ้นงานจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนเรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่มDOแบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกแสดงดังภาพที่ 4-16

5. การวางแผน สร้าง และทดสอบชิ้นงาน



ภาพที่ 4-16 ภาพร่างการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

จากการสัมภาษณ์นักเรียนโดยมีคำถามว่า กลุ่มของนักเรียนมีการวางแผนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

นักเรียนกลุ่มที่ 2 กล่าวว่า “หนูวาดแบบของสิ่งประดิษฐ์ 2แบบแล้วเลือกที่เหมาะสมทำตามแบบที่วาดไว้ค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 5 กล่าวว่า “เรามีการร่างแบบก่อนสร้างสิ่งประดิษฐ์โดยใช้ไม้ไผ่เป็นแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนเลือกแบบแนวนอนเพราะเจาะรูได้หลายรูค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 7 กล่าวว่า “ผมทำแบบที่ร่างมีแบบ 2 ชั้นกับจำนวน5 ชั้นครับ กลุ่มเราจึงเลือก จำนวน 5 ชั้นเพราะจำนวนชั้นมากจะทำให้ค่า DO เพิ่มมากครับ”

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถวางแผนและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ และใช้ข้อมูลจากการเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาแล้ว นักเรียนมีการออกแบบ วาดภาพร่างสิ่งประดิษฐ์โดยในภาพร่างมีการระบุวัสดุอุปกรณ์ สัดส่วนที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด แล้วดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบ

2.4 ด้านการทดสอบและประเมินผล

1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) สร้างสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

2) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) สามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริง

3) นักเรียนจำนวน 6 กลุ่ม (ร้อยละ 85.71%) ได้ทดสอบสิ่งประดิษฐ์แต่เมื่อพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้น้อยจึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด และนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม (ร้อยละ 14.29%) ไม่มีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มาก

4) นักเรียนจำนวน 5 กลุ่ม (ร้อยละ 71.43%) ได้ปรึกษาปัญหาการสร้างสิ่งประดิษฐ์เช่น การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ การออกแบบสิ่งประดิษฐ์ การทดสอบสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นกับครู มีนักเรียนเพียง 2 กลุ่ม (ร้อยละ 28.57%) ไม่มาขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากครู

ในขั้นตอนนี้เริ่มหลังจากการที่นักเรียนได้สร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำในการแก้ปัญหาตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วต้องมีการทดสอบและประเมินผลการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเอง และจากการวิเคราะห์เนื้อหาจากใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนในด้านทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำปรากฏผลดัง (ตารางที่ 7 ภาคผนวก จ) พบว่าการทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานของนักเรียนมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =1.71, S.D. = 0.49, 85.71%) และดังตัวอย่างการสัมภาษณ์นักเรียนโดยมีคำถามว่า กลุ่มของนักเรียนมีการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ของตนอย่างไร และนักเรียนมีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองหรือไม่ถ้ามีเพราะอะไร

นักเรียนกลุ่มที่ 1 กล่าวว่า “เรามีการทดสอบโดยการใส่น้ำเสียลงไปแล้ววัดค่าDOค่ะ และกลุ่มของเรามีการปรับปรุงเชือกที่แขวนค่ะหนูขยับเชือกที่มัดเพราะน้ำที่ไหลจากรูไม่ตรงกับไม้ไผ่ที่อยู่ด้านล่างค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 2 กล่าวว่า “หนูทดสอบโดยการใส่น้ำที่ค่าDOต่ำลงไปในร่องน้ำค่ะแล้วใบกังหันจะหมุนแล้ววัดค่าDOค่ะ กลุ่มของหนูมีการปรับปรุงค่ะตรงกังหันที่ให้น้ำไหลผ่านไม่หมุนพวกเราจึงเพิ่มร่องน้ำเพื่อให้น้ำไหลแรงและควบคุมทิศทางของน้ำง่ายขึ้นค่ะค่าDOที่ได้ก็เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมด้วยค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 3 กล่าวว่า “พวกเราเอาน้ำเสียใส่ปล่อยให้น้ำไหลลงไปตามชั้นแล้ววัดDOครับ เราไม่มีการปรับปรุงครับเพราะทำจำนวนชั้น 5 ชั้นแล้วเจาะรูให้น้ำสัมผัสกับอากาศมากให้มากที่สุดวัดDOแล้วเพิ่มขึ้นมากครับ”

2.5 ด้านการนำเสนอผลลัพธ์

1) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) สามารถสาธิตและอธิบายการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

2) นักเรียนจำนวน 7 กลุ่ม (ร้อยละ 100.00%) ได้นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้ครบถ้วน

ในขั้นตอนนี้เริ่มหลังจากที่นักเรียนสร้างและทดสอบสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มDO แล้วนำสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองมานำเสนอพร้อมทั้งอธิบายวิธีการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ในการทำให้ค่าDOเพิ่มขึ้นและอธิบายหลักการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีมาใช้ ดังภาพที่ 4-17

ภาพที่ 4-17 แสดงการสาธิตการทำงานสิ่งประดิษฐ์ กลุ่มที่ 2 กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

จากภาพที่ 4-17 และข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถนำเสนอผลลัพธ์ได้และสามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้ครบถ้วน และจากการวิเคราะห์ชิ้นงานและการนำเสนอของนักเรียนปรากฏผลดัง (ตารางที่ 8 ภาคผนวก จ) พบว่าการนำเสนอผลงานของนักเรียนมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ =3.00, S.D. = 0.00, 100%) โดยนักเรียนสามารถนำเสนอการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างเป็นขั้นตอนมีการอธิบายอย่างชัดเจนและนำแนวคิดมาใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างมีเหตุผล ดังตัวอย่างการสัมภาษณ์นักเรียนโดยมีคำถามว่า นักเรียนนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองได้อย่างไร

นักเรียนกลุ่มที่ 2 นำเสนอโดยกล่าวว่า “สิ่งประดิษฐ์ที่พวกเราสร้างขึ้นใช้การหมุนของใบกังหันพัดน้ำให้น้ำสัมผัสกับอากาศค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 3 สามารถอธิบายกระบวนการทำงานของสิ่งประดิษฐ์โดยกล่าวว่า “ให้น้ำสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศให้มากที่สุดค่ะ โดยการเจาะรูของไม้ไผ่และให้ระดับความสูงของน้ำแตกต่างกันค่ะ”

นักเรียนกลุ่มที่ 7 สามารถอธิบายกระบวนการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ได้โดยกล่าวว่า “หนูนำหลักการของกังหันน้ำให้น้ำสัมผัสกับอากาศมากขึ้นค่ะ โดยเพิ่มจำนวนชั้นกลไกให้มากขึ้นค่ะ”

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถนำเสนอผลลัพธ์ได้ และสามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียได้ครบถ้วน

จากการประเมินพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก ผู้วิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีการปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 5 ด้าน ซึ่งประกอบด้วยด้าน การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์

3. ผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) ของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจน

ทดสอบการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำของสิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนสร้างขึ้นจากทั้ง 2 กิจกรรม คือกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย และกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก โดยใช้ชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เตรียมขึ้น แสดงดังตารางที่ 4-14 และ4-15

ตารางที่ 4-14 ผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

กลุ่มที่	ค่า DO ก่อนการทดสอบ (mg/L)	ค่า DO หลังการทดสอบ (mg/L)	ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
1	0.20	6.20	6.00
2	0.20	5.80	5.60
3	0.20	3.20	3.00
4	0.20	6.00	5.80
5	0.20	3.80	3.60
6	0.20	5.20	5.00
7	0.20	4.20	4.00

จากตารางที่ 4-14 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ของสิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างขึ้นจาก กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย พบว่า สิ่งประดิษฐ์ของนักเรียนสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริงและมีค่า DO เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 3.00-6.00 โดยกลุ่มที่ 1 มีการเพิ่มค่า DO ได้มากสุดเนื่องจากนักเรียนสร้างสิ่งประดิษฐ์จำนวน 4 ชั้นและแต่ละชั้นมีระยะห่างมากทำให้ออกซิเจนสัมผัสกับน้ำได้มาก และกลุ่มที่ 3 มีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยสุดเนื่องจากนักเรียนสร้างสิ่งประดิษฐ์จำนวน 2 ชั้นและมีระยะห่างระหว่างชั้นน้อยทำให้น้ำสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศน้อย

ตารางที่ 4-15 ผลการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

กลุ่มที่	ค่า DO ก่อนการทดสอบ (mg/L)	ค่า DO หลังการทดสอบ (mg/L)	ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
1	0.40	6.80	6.20
2	0.40	6.80	6.20
3	0.40	6.20	5.80
4	0.40	6.40	6.00
5	0.40	5.60	5.20
6	0.40	5.40	5.00
7	0.40	4.40	4.00

จากตารางที่ 4-15 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ของสิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างขึ้นจาก กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก พบว่า สิ่งประดิษฐ์ของนักเรียนสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริงและมีค่า DO เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 4.00-6.20 โดยกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีการเพิ่มค่า DO ได้มากสุดเนื่องจากนักเรียนกลุ่มที่ 1 สร้างสิ่งประดิษฐ์เป็นขั้นบันได ให้น้ำมีการไหลกลับไปกลับมาทำให้ออกซิเจนสัมผัสกับน้ำได้มาก ส่วนกลุ่มที่ 2 มีการออกแบบเป็นแบบกังหัน ใบกังมีการตีน้ำทำให้ออกซิเจนสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น และกลุ่มที่ 7 มีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยสุดเนื่องจากนักเรียนสร้างสิ่งประดิษฐ์จำนวน 5 ชั้นแต่มีระยะห่างระหว่างชั้นน้อยและระหว่างชั้นต่าง ๆ มีขนาดของรูที่ให้น้ำสัมผัสกับอากาศน้อย

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามและประเมินประสิทธิภาพโดยเทียบกับวิธีมาตรฐาน (2) ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา (3) ศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ซึ่งได้แบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 3 ตอน ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยประยุกต์เทคนิคการรวบรวมข้อมูลแบบผสานวิธี เครื่องมือในการเก็บข้อมูลได้แก่ แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย และแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 1 แผน ใช้เวลาจัดกิจกรรม 8 ชั่วโมง

เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกการปฏิบัติ ประกอบด้วย 1) แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย 2) แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก 3) การสัมภาษณ์เพื่อประเมินกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ จำนวน 50 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาแต่ละตอนสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. เตรียมชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

เมื่อทำการทดลองหาค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจากตัวอย่างน้ำที่โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์จากแหล่งน้ำ 2 แหล่ง ที่บริเวณสระน้ำ และน้ำประปาโรงเรียน และเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต มาใช้กับชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้น คือ 0.001125 N และเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน Azide Modification of Iodometric Method ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N และทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม 2558 – 24 พฤษภาคม 2558 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า F-Test และ t-Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลจากค่า F-Test และ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากค่า t-Test จากตัวอย่างน้ำประปา มีค่า F-Test และ t-Test เท่ากับ 1.07 และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนน้ำตัวอย่างสระน้ำมีค่า F-Test และ t-Test เท่ากับ 1.03 และ 0.31 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าในตารางจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดลองทั้งสองวิธี ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 1

2. การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา เมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา หัวข้อและตัวชี้วัด พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสียที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษา และกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย และสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่ออกแบบขึ้นมีความสอดคล้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษาและส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านการทำกิจกรรมซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 2

3. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

ผลการประเมินพฤติกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่มจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก มีค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละแต่ละด้านเท่ากับ 95.24, 92.86, 92.86, 89.29 และ100.00 ตามลำดับ และนักเรียน สามารถนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ที่มีการใช้ชุดพัฒนาการตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบภาคสนามตามแนวทางสะเต็มศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ในข้อ 3

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษา การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา แต่ละตอนสามารถนำประเด็นที่สำคัญมาอภิปรายได้ดังนี้

1. ผลการเตรียมชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนาม

จากการพัฒนาชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามเป็นชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ที่สามารถแสดงผลการทดสอบจากการใช้ปริมาณสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาณค่า DO ที่ตรวจวัดได้ทำให้มีการแปลผลในระหว่างการทดสอบได้ง่ายทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในการแปลผลข้อมูลจากการทดลองได้ง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nugultham and Shiowatana (2010) ได้ศึกษาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมในไทยโดยใช้ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองออกซิเจนละลายน้ำ มีการพัฒนาชุดการทดลองให้มีต้นทุนต่ำและออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็ว ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความสนุกสนานจากการใช้ชุดทดลองและนักเรียนมีการอภิปรายเกี่ยวกับแนวคิดทางด้านวิทยาศาสตร์มากขึ้นทำให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางเคมีมากขึ้น และจากการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบโดยมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่ประหยัดและหาได้ง่ายได้แก่ กระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร ขวดแก้วใสปากกว้าง ขวดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตรใช้เก็บน้ำตัวอย่าง และมีการลดอัตราส่วนและความเข้มข้นของสารเคมีเพื่อให้มีการใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ โชคชัย เหลืองธุวปราณีต และนัยนา ศรีชัย (2549) ได้ทำการประเมินชุดทดสอบที่เตรียมเองสำหรับวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนภายนอกห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมชุดทดสอบที่เตรียมขึ้นเองให้มี

ขนาดเล็ก กะทัดรัด และเหมาะสมกับการวิเคราะห์นอกห้องปฏิบัติการ มีต้นทุนในการวิเคราะห์ต่ำกว่าวิธีดัดแปลงของวิงเลอร์โดยใช้แอไซด์ถึง 8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการทดสอบ paired t-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และชุดตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่เตรียมขึ้นมีคุณสมบัติการวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดลองทั้งสองวิธี ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสอดคล้องกับ กรมอนามัย (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) ที่ได้ทำการศึกษาชุดค่าออกซิเจนละลายในน้ำโดยชุมชน (อ33) พบว่าการตรวจค่าออกซิเจนละลายในน้ำด้วยชุด อ33 ให้ความถูกต้องน่าเชื่อถือซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการไม่น้อยกว่า 90%

2. ผลการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีการออกแบบโดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับใช้ในภาคสนามมาใช้ในกิจกรรมการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และสุภาภรณ์ ศิริโสภณา (2011) ได้ทำการศึกษาการสร้างชุดกิจกรรม เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในท้องถิ่น พบว่าชุดกิจกรรมที่สร้างขึ้น มีค่าเฉลี่ยของความเห็นผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดกิจกรรมทั้ง 6 หน่วย เท่ากับ 4.53±0.20 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสรี ปานเงิน, เจษฎา มิ่งฉาย และจันเพ็ญ ชุมแสง (2554) ได้ทำการพัฒนาการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาเรื่องการอนุรักษ์ดิน น้ำและป่าไม้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ใช้สอนสิ่งแวดล้อมศึกษากับวิธีสอนปกติ ผลการวิจัยพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้สอนสิ่งแวดล้อมศึกษามีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 87.31/92.08 และพบว่า ค่า IOC ของแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษาหัวข้อและตัวชี้วัด พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมเรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องตามแนวทางสะเต็มศึกษา และกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากค่า IOC ของแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย และสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่ออกแบบขึ้นมีความสอดคล้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จารีพร ผลมูล, สุนีย์ เหมาะประสิทธิ์ และเกริก ศักดิ์สุภาพ (2558) ได้ทำการพัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM โดยศึกษา

ประสิทธิภาพของหน่วยการเรียนรู้ ผลการวิจัยพบว่า หน่วยการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ 81.65/78.33 ตามเกณฑ์ 80/80 และจากการกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์ที่จัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา โดยมีการออกแบบที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จำรัส อินทลาภาพร, มารุต พัฒผล, วิชัย วงษ์ใหญ่ และศรีสมร พุ่มสะอาด (2558) ได้ทำการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับประถมศึกษา โดยศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาจากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัย พบว่าในการจัดการเรียนรู้และการประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษา ผู้สอนควรศึกษาสาระสำคัญของสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยีและกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในลักษณะของการบูรณาการ จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียนวางแนวทางการจัดการเรียนรู้ควรเป็นการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง ตลอดจนวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามสภาพจริง

3. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ค่ายวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยนำชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ จากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย และงานที่ได้รับมอบหมายหลังจากการจัดกิจกรรมค่าย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก เกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมครบทั้ง 5 ขั้น ได้แก่ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและการพัฒนา การทดสอบและการประเมินผล และการนำเสนอผลลัพธ์ มีค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 ทั้ง 5 ด้าน และผลการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับ ดีมาก

ทั้งนี้เนื่องมาจาก การจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจและทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี จากนั้นนำความรู้ความเข้าใจที่ได้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อสนองความต้องการหรือแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ สกนธ์ชัย ชะนูนันท์ (2559) ที่กล่าวว่าองค์ประกอบและลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา คือกิจกรรมการเรียนต้องมีการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ เชื่อมโยงกับชีวิตจริง มุ่งให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะในศตวรรษที่ 21 และมีการใช้การวัดผลตามสภาพจริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ พลศักดิ์ แสงพรมศรี (2558) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการ

เรียนเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และเจตคติต่อการเรียนเคมี สูงกว่าการเรียนรู้แบบปกติ สอดคล้องเช่นเดียวกับงานวิจัยของ นิตยา ภูผาบาง (2558) ซึ่งจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษามีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่เกิดขึ้นกับนักเรียนที่ได้จัดการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาสามารถจำแนกเป็น 5 ขั้น ดังนี้

(1) ขั้นการระบุปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงถึงความสามารถในการเข้าใจสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ถูกส่งเสริมจากการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นจริงและเกี่ยวข้องกับในชีวิตประจำวันของนักเรียนมากำหนดเป็นสถานการณ์ แล้วให้นักเรียนได้ระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียและสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

(2) ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงถึงความสามารถในการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดี ข้อด้อย และความเหมาะสม เพื่อเลือกแนวคิด แนวทางหรือวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา ถูกส่งเสริมจากการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ซึ่งผู้วิจัยให้นักเรียนศึกษาความรู้ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้จากใบงาน เอกสาร ข้อมูลต่างๆ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสร้างสิ่งประดิษฐ์โดยทำการทดลองที่ 1 เรื่อง การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่า DO การทดลองที่ 2 เรื่อง การศึกษาปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่มีผลต่อค่า DO และการทดลองที่ 3 เรื่อง การศึกษาค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียน และการทดลองที่นักเรียนร่วมกันออกแบบให้สอดคล้องกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนนำไปใช้เป็นความรู้และข้อมูลในการเลือกแหล่งน้ำที่ใช้ในการบำบัดและสร้างสิ่งประดิษฐ์ จากนั้นให้นักเรียนสรุปปัญหาและวิธีแก้ไข และการทำใบกิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกโดยผู้วิจัยได้มีการกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่มออกซิเจนในน้ำ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่า และประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์

(3) ขั้นการวางแผนและพัฒนา เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงถึงความสามารถในการกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงาน รวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการให้ชัดเจน รวมถึงการออกแบบและพัฒนาต้นแบบของผลผลิต เพื่อใช้ในการทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการ

แก้ปัญหา ถูกส่งเสริมจากการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยให้นักเรียนวางแผนการดำเนินงาน ออกแบบการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ มีการวาดภาพร่างโดยนักเรียนต้องระบุขนาดและสัดส่วนอย่างชัดเจน ลงมือประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำตามแบบที่ออกแบบไว้ให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด

(4) ขั้นการทดสอบและประเมินผล เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงถึงความสามารถในการทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบ เพื่อแก้ปัญหาโดยผลที่ได้อาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ไขมากยิ่งขึ้น ถูกส่งเสริมจากการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยให้นักเรียนทำการทดสอบการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำของอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยใช้กับแหล่งน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย

(5) ขั้นการนำเสนอผลลัพธ์ เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงถึงความสามารถในการนำเสนอผลลัพธ์หลังการพัฒนา ปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์ จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ ถูกส่งเสริมจากการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ซึ่งผู้วิจัยให้นักเรียนกลุ่มที่มีแนวคิดในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเติมปริมาณออกซิเจนในน้ำที่แตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ มานำเสนอชิ้นงานและผลการทดสอบ และเปรียบเทียบผลงานของแต่ละกลุ่มและร่วมกันอภิปรายถึงการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ มาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์และวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วร่วมกันสรุปประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนสร้างขึ้น

ลักษณะที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา ต้องจัดกิจกรรมโดยบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ โดยเชื่อมโยงกับประสบการณ์ในชีวิตจริง เพื่อระบุปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่าง ๆ มีการสร้างสิ่งประดิษฐ์ ชิ้นงาน หรือวิธีการ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านั้น และมีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ ชิ้นงาน หรือวิธีการ เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และนักเรียนใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการแก้ปัญหา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Strimel (2014) ที่ได้พัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในระดับบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา ผลการวิจัยพบว่ากิจกรรมการบูรณาการที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้ผู้เรียนมีการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการออกแบบ สร้างชิ้นงาน ตลอดจนการแก้ปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและวิศวกรรม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จรูญพงษ์ ชลสินธุ์ (2559) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต่อการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถร่วมกันแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับงานวิจัยของ

วรรณา รุ่งลักษมีศรี (2551) ได้ศึกษาผลของการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยการจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee (2015) ได้ศึกษาการสอนแบบบูรณาการวิชาชีววิทยาเข้ากับเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ หรือ BTEM เพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 พบว่านักเรียนสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงโดยนักเรียนต้องมีการค้นหาแนวทางในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พัชรี อินทปัญญา, บุญนาค สุขุมเมฆ และชาตรี ฝ่ายคำตา (2558) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยการใช้กิจกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน ผลการวิจัยพบว่า การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แบบใช้ปัญหาเป็นฐานช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ เนื่องจากเน้นการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของการเรียนรู้ทฤษฎี และสามารถนำความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาบูรณาการกันเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ และเช่นเดียวกับงานวิจัยของ ภัสสร ติดมา (2558) ที่จัดการเรียนแบบ สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีการวางแผนการทำงาน สร้างชิ้นงานโดยคำนึงถึงราคาและคุณสมบัติของวัสดุ สร้างและปรับปรุงแบบจำลองให้สมบูรณ์ขึ้น ส่งผลให้สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนให้มากขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้เวลาในการจัดกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาให้เพียงพอเนื่องจากมีการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงชิ้นงานให้ดีขึ้น

2. ควรนำแผนการสอนนี้ไปทดลองใช้ในรายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อให้นักเรียนเกิดทักษะและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงได้

3. ควรบอกข้อควรระวังในการใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและระมัดระวังในขั้นตอนการปฏิบัติและการทดลอง

4. เทคโนโลยีที่นักเรียนส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตควรปรับปรุงให้นักเรียนมีการพัฒนาในส่วนของเทคโนโลยีเช่น การเลือกใช้วัสดุในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ การสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมในรายวิชาโครงงาน

5. สิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำที่นักเรียนสร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีค่า DO ต่ำได้จริงโดยสิ่งประดิษฐ์ส่วนใหญ่นักเรียนสร้างเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นถ้ายิ่งสูงมากจะเพิ่มออกซิเจนได้ดี หรือแบบอื่น ๆ เช่น รูปแบบของกังหัน ก็เพิ่ม DO ได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

กรมอนามัย. (2537). *คู่มือตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กรมอนามัย. (ม.ป.ป.). *ชุดตรวจค่าออกซิเจนละลายในน้ำโดยชุมชน(o33)*. ม.ป.ท.

กรรณิการ์ สิริสิงห. (2549). *เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์.

กวิน เชื่อมกลาง. (2556). กิจกรรมสะเต็มหรรษา:ลูกโป่งน้ำบันจีจัมป์. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.)*, *41*(182), 26-29.

จารีพร ผลมูล, สุนีย์ เหมะประสิทธิ์ และเกริก ศักดิ์สุภาพ. (2558). การพัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กรณีศึกษาชุมชนวังตะกอ จังหวัดชุมพร. *วารสารวิจัย มข.(ฉบับบัณฑิตศึกษา)สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, *3*(2), 1-13.

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

จรูญพงษ์ ชลสินธุ์. (2559). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ต่อการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์. ใน *โครงการประชุมวิชาการเวทีวิจัยมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ครั้งที่ 10 ประจำปี2559 "เอกภาพและความหลากหลายในมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์"* (หน้า 125-141). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต และนัยนา ศรีชัย. (2549). ชุดทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำนอกห้องปฏิบัติการ. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, *29*(1), 101-108.

นิตยา ภูผาบาง. (2559). การใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ใน *การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่6.* (หน้า H332-H345). กรุงเทพ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2555). *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ปริศนา เพชระบูรณิน. (2555). ระบบการศึกษาไทยกับการพัฒนาที่ยั่งยืน. *วารสารวิชาการปทุมวัน*, *2*(4), 67-72.

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

พูลสุข โพธิรักขิต และปรัชญา นุสรณ์. (2553). *เคมีสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ลม ไฟ*. นครปฐม: สาละ.

พัชรี อินทปัญญา, บุญนาค สุขุมเมฆ และชาตรี ฝ่ายคำตา. (2558). การพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ในเนื้อหาเรื่องปริมาณสัมพันธ์. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย"*(หน้า 1-6). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ภัสสร ติดมา. (2888). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

มนนภา เทพสุด. (2548). *ปฏิบัติการเคมีทั่วไป*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลือชา ลดาชาติ. (2555). *การวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรไทย.

วรรณา รุ่งลักษมีศรี. (2551). *ผลของการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในโรงเรียนสาธิต*. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์, คณะครุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. (2555). *เคมีวิเคราะห์*(พิมพ์ครั้งที่13). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2559). *รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา*. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ การออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ตามโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการพัฒนาครูด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา. นครสวรรค์: สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 42 กระทรวงศึกษาธิการ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.)กระทรวงศึกษาธิการ. (2558). *ความรู้เบื้องต้นสะเต็ม*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *สรุปผลการวิจัย PISA 2015*. เข้าถึงได้จาก http://pisathailand.ipst.ac.th/pisa/reports/pisa2015summaryreport

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.)กระทรวงศึกษาธิการ. (2558). *มาตรฐานสะเต็มศึกษา*. กรุงเทพฯ: ซัคเซสพับลิเคชัน.

สรวงมณฑ์ สิทธิสมาน. (2557). *ชั่วโมงเรียนปัญหาไม่ได้อยู่ที่จำนวน-อยู่ที่คุณภาพ*. เข้าถึงได้จาก http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9570000097962

สราวุฒิ สมนาม.(2557). *เคมีวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนีย์ คล้ายนิล, ปรีชาญ เดชศรี และอัมพลิกา ประโมจนีย์. (2551). *ความรู้และสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สำหรับโลกวันพรุ่งนี้*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท):เซเว่นพริ้นติ้ง กรุ๊ป.

สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และสุภาภรณ์ ศิริโสภณา. (2554). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในท้องถิ่นด้วยการใช้ชุดกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, *2*(1),119-130.

สุวิษย์ เมษินทรีย์. (2559). Thailand 4.0 กับบทบาทการขับเคลื่อนของมหาวิทยาลัย. ใน *งานประชุมสภามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์* (หน้า 19-21). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสรี ปานเงิน, เจษฎา มิ่งฉาย และจันทร์เพ็ญ ชุมแสง. (2554). การพัฒนาวิธีสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการอนุรักษ์ดิน น้ำ และป่าไม้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร*, *13*(2), 36-43.

อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2555). วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ กับการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21. *วารสารครุวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี*, *18*, 78-80.

อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2556). เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไรในสะเต็มศึกษา. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.)*, *42*(185), 35-37.

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

ITEA. (2005). Standards for Technological Literacy:Content for the Study of Technology. *International Technology Education Association(ITEA)*. Invention: the invention crusada.

Lee, C.H., & Kamisah, O. (2015). An interdisciplinary approach for biology, technology, engineering and mathematics (BTEM) to enhance 21st century skills in Malaysia. *K-12 STEM education*, *1*(3), 137-147.

Nugultham, K., & Shiowatana, J. (2010). Teaching science in thai secondary schools using experimental kits. *The International Journal of Learning*, *16*(12), 307-315.

Strimel, G. (2014). Shale Gas Extraction: Drilling Into Current Issues and Making STEM Connections. *Technology and Engineering Teacher, 73*(5), 16-24.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ก-1 ตารางบันทึกผลการวัดค่า DO ด้วยวิธีมาตรฐาน จากตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียน น้ำบริเวณสระน้ำหลังห้องสมุด น้ำบริเวณท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู

บริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำ	วิธีวิเคราะห์มาตรฐาน			
	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาตรที่ใช้ไทเทรต(ml)	ปริมาตรเฉลี่ย (ml)	ค่า DO (mg/L)
1.น้ำประปาโรงเรียน	ขวดที่ 1	7.60		
	ขวดที่ 2	7.60	7.60	7.60
	ขวดที่ 3	7.60		
2. สระน้ำหลังห้องสมุด	ขวดที่ 1	4.20		
	ขวดที่ 2	4.20	4.20	4.20
	ขวดที่ 3	4.20		
3. ท่อระบายน้ำข้างบ้านพักครู	ขวดที่ 1	0.40		
	ขวดที่ 2	0.40	0.40	0.40
	ขวดที่ 3	0.40		

ตารางที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจากตัวอย่างน้ำประปาโรงเรียนระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125 N, 0.001125 N และ 0.001 N ตามลำดับ (n=6)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
0.00125	1	6.13	6.10	-2.24	-2.57
	2	6.13	6.10		
	3	6.13	6.20		
	4	6.10	6.20		
	5	6.10	6.20		
	6	6.10	6.20		
	เฉลี่ย	6.12	6.17		
0.001125	1	6.30	6.30	0.53	2.57
	2	6.30	6.30		
	3	6.30	6.30		
	4	6.30	6.30		
	5	6.30	6.30		
	6	6.40	6.35		
	เฉลี่ย	6.32	6.31		
0.001	1	7.53	6.40	42.55	2.57
	2	7.47	6.30		
	3	7.60	6.40		
	4	7.53	6.40		
	5	7.60	6.40		
	6	7.50	6.40		
	เฉลี่ย	7.54	6.38		

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำสระน้ำโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานและชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125 N, 0.001125 N และ 0.001 N ตามลำดับ (n=6)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)	ครั้งที่	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L)		t-Test	
		ชุด DO test kit ที่เตรียมขึ้น	วิธีมาตรฐาน	T_{cal}	T_{table}
0.00125	1	0.80	0.80	1.34	2.57
	2	0.80	0.80		
	3	0.80	0.70		
	4	0.80	0.70		
	5	0.70	0.70		
	6	0.70	0.70		
	เฉลี่ย	0.77	0.73		
0.001125	1	0.60	0.60	-0.39	-2.57
	2	0.60	0.70		
	3	0.67	0.60		
	4	0.60	0.60		
	5	0.60	0.60		
	6	0.67	0.70		
	เฉลี่ย	0.62	0.63		
0.001	1	0.80	0.70	3.34	2.57
	2	0.90	0.70		
	3	0.80	0.60		
	4	0.73	0.70		
	5	0.70	0.70		
	6	0.80	0.70		
	เฉลี่ย	0.79	0.68		

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้

2. แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

3. แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

4. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

แผนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ระดับชั้น มัธยมศึกษาตอนต้น เวลา 360 นาที

สาระสำคัญ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหรือค่า DO (Dissolved Oxygen) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนมากน้อยเพียงใด และเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ โดยค่า DO จะแปรผันตามปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ถ้าน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่มากจะให้ค่า DO สูงจัดเป็นน้ำคุณภาพดี ส่วนน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่น้อยจะให้ค่า DO ต่ำ จัดเป็นน้ำเสีย น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีควรมีค่า DO มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ปริมาณสารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ

ค่า DO มีความสำคัญในการรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์อื่น และช่วยควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงนำชุด DO test kit มาใช้ในการตรวจวัดค่า DO ของน้ำ เพื่อหาคุณภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ในท้องถิ่น

กิจกรรม “สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย” เป็นกิจกรรมที่ให้นักเรียนประยุกต์ใช้องค์ความรู้เกี่ยวกับการหาค่า DO และปัจจัยที่มีผลต่อค่า DO มาบูรณาการร่วมกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความรู้ทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยี และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อออกแบบและสร้างสร้างสรรค์นวัตกรรมที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดแหล่งน้ำเสียในท้องถิ่น

ผลการเรียนรู้

ตัวชี้วัด

วิทยาศาสตร์ (S)	ออกแบบและเทคโนโลยี (T)	คณิตศาสตร์ (M)
อธิบายการตรวจวัดค่า DO	สร้างอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีในการ

วิทยาศาสตร์ (S)	ออกแบบและเทคโนโลยี (T)	คณิตศาสตร์ (M)
สังเกตและอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย อธิบายผลกระทบของน้ำเสียที่มีผลต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น สำรวจและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบอย่างต่อเนื่อง	โดยใช้วิธีการ ตามกระบวนการเทคโนโลยีอย่างปลอดภัย ใช้กระบวนการกลุ่มในการทำงานด้วยความเสียสละ ตัดสินใจแก้ปัญหาการทำงานอย่างมีเหตุผล	แก้ปัญหาในสถานการณ์ ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะ เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์และนำความรู้หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ

หมายเหตุ

<u>วิทยาศาสตร์ (S)</u> วิทยาศาสตร์ในที่นี้ได้กำหนดการจัดการเรียนรู้ให้ดำเนินกิจกรรมให้บรรลุถึงมาตรฐานว8.1ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช2551ด้วย เนื่องจากเป็นการสอนวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเป็นรายวิชาเพิ่มเติม

<u>วิศวกรรมศาสตร์ (E)</u> ไม่ได้ปรากฏในหลักสูตร 2551 แต่กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้เสนอไว้ 5 ขั้นตอน คือ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและพัฒนา การทดสอบและประเมินผล การนำเสนอผลลัพธ์ (ความรู้เบื้องต้นสะเต็ม. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กระทรวงศึกษาธิการ)

สาระการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหรือค่า DO (Dissolved Oxygen) มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนมากหรือน้อย และเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ โดยค่า DO จะแปรผันตามปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ถ้าน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่มากจะให้ค่า DO สูงจัดเป็นน้ำคุณภาพดี ส่วนน้ำที่มีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่น้อยจะให้ค่า DO ต่ำ จัดเป็นน้ำเสีย น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีควรมีค่า DO มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ปริมาณสารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ

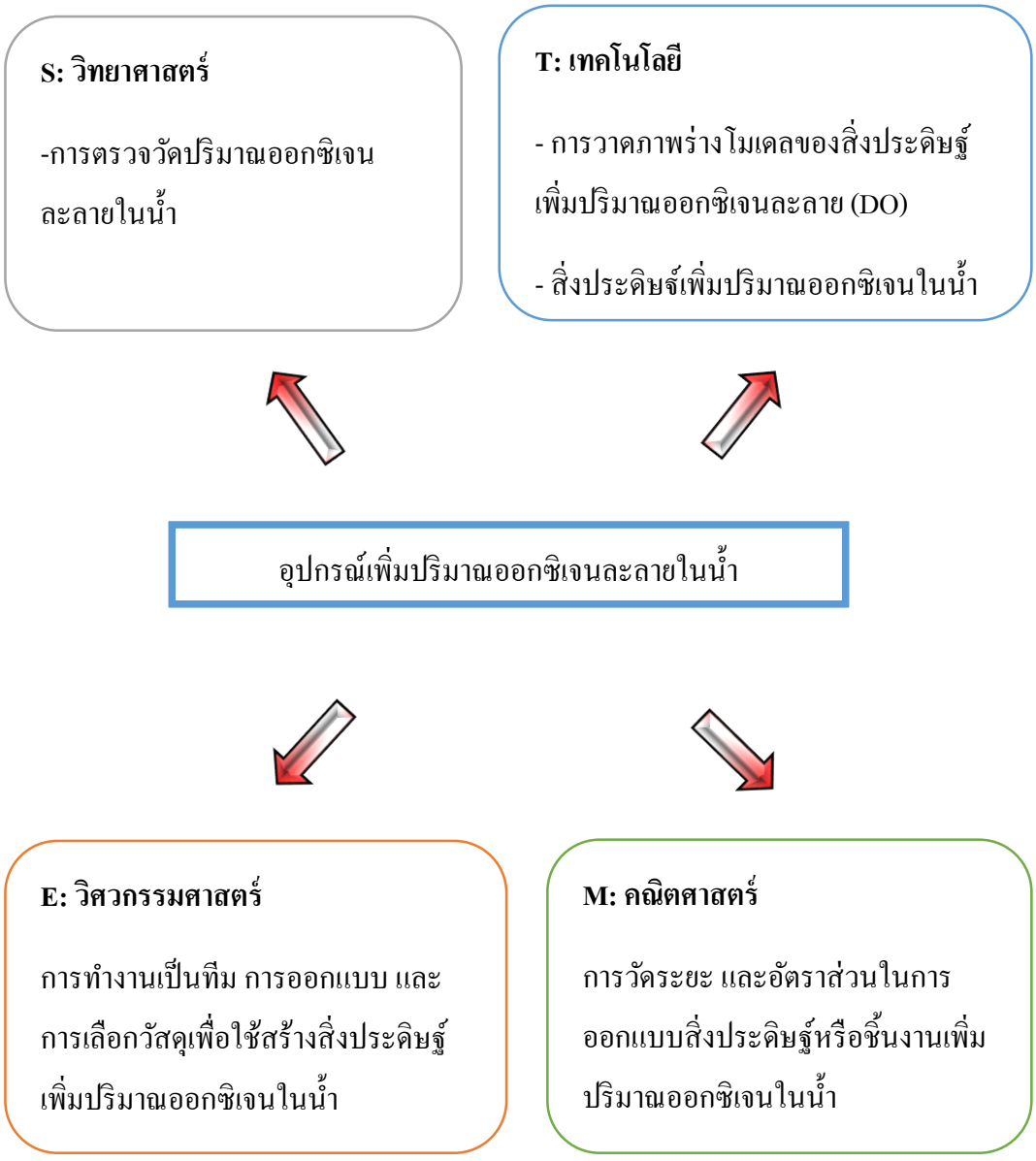
คณิตศาสตร์

ใช้การวัดและอัตราส่วนในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์หรือชิ้นงานที่ใช้ในการเติมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

เทคโนโลยี

การสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือชิ้นงานที่ใช้ในการเติมปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยการแสวงหาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ตามขั้นตอนและภาพร่างที่ออกแบบไว้ ถ่ายทอดความคิดในรูปแบบ การนำเสนอและกระบวนการรายงานผลอย่างเป็นระบบ

ผังมโนทัศน์



จุดประสงค์

1. ศึกษาเรื่องออกซิเจนละลายในน้ำ
2. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ
3. สร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

อุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์

สำหรับทดสอบปริมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (ชุด ตรวจวัด DO ที่เตรียมขึ้นเตรียมไว้สำหรับทุกกลุ่ม)

อุปกรณ์ที่กำหนดให้

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	กระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร	4 อัน
2	กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร	2 อัน
3	ขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร	3 ใบ
4	ขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร	3 ใบ
5	ขวดสีชาขนาด 50 มิลลิลิตร	1 ใบ
6	บีกเกอร์ 25 มิลลิลิตร	6 ใบ

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ทดสอบ

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	สารละลายแมงกานีสซัลเฟต($MnSO_4 \cdot H_2O$)	5 มิลลิลิตร
2	สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดด์ เอไซด์	5 มิลลิลิตร
3	น้ำแป้ง	5 มิลลิลิตร
4	กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	5 มิลลิลิตร
5	สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต0.001125 N	30 มิลลิลิตร

หมายเหตุ

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ในจะมีความเข้มข้นมาก เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจึงควรใช้อย่างระมัดระวัง

- ควรให้นักเรียนใส่อุปกรณ์สำหรับป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทดลอง ได้แก่ ถุงมือยาง แว่นตา และผ้าปิดปาก

รายการอุปกรณ์สร้างสิ่งประดิษฐ์สำหรับจำหน่าย

อุปกรณ์ที่กำหนดให้

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	กรรไกร	1 อัน
2	ถังน้ำ	1 ใบ
3	มีดคัตเตอร์	1 อัน
4	ยางวง	20 เส้น
5	เชือก	1 ม้วน

อุปกรณ์ที่นักเรียนต้องเลือกซื้อโดยกำหนดราคาไม่เกิน 250 บาท

ที่	รายการ	ราคา(บาท)/ชิ้น
1	ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 600 มิลลิลิตร	25
2	ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 1500 มิลลิลิตร	20
3	ไม้เสียบลูกชิ้น	5
4	ไม้ไอศกรีม	5
5	ก้อนหินขนาดเล็ก	10
6	ตะเกียบ	10

แนวการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (เวลา360 นาที)

1. <u>ขั้นการระบุปัญหา</u> (Identify a challenge) (เวลา30 นาที)

1. ครูนำเข้าสู่กิจกรรมโดยนำเสนอปัญหาน้ำเสีย สาเหตุของน้ำเสียที่มีต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่เรื่องการพัฒนาคุณภาพน้ำโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำดังนี้(นักเรียนอาจยังไปไม่ถึงแนวคิด เรื่องสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เติมออกซิเจน)

1.1 ครูเปิด Power Point ที่เป็นข่าว **เรื่อง ปลาในกระชังลอยตายแม่น้ำป่าสักสระบุรีสูญนับสิบล้าน** ที่มา http://www.tnamcot.com/content/152885 จากนั้นครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากข่าวที่กำหนดให้ และร่วมกันอภิปรายปัญหาดังนี้

- จากข่าวเรื่อง **ปลาในกระชังลอยตายแม่น้ำป่าสักสระบุรีสูญนับสิบล้าน** นักเรียนคิดว่ามีปัญหาใดเกิดขึ้น และมีสาเหตุที่เกิดขึ้นอย่างไร

แนวคำตอบ - สารเคมีในน้ำทำให้ปลาตาย

- ปลาตายเพราะขาดออกซิเจนในน้ำ

ควรได้ข้อสรุปว่า

- ปัญหา น้ำเสียทำให้ปลาตาย และส่งผลกระทบต่อความเสียหายด้านทรัพย์สิน

- สาเหตุ ปลาตายเนื่องจากปลาขาดออกซิเจน และสาเหตุที่ออกซิเจนน้อยเนื่องมาจากแหล่งน้ำนั้นได้รับสารเคมีเจือปนในน้ำทำให้ในแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำน้อยลงทำให้ปลาไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยปกติปลาที่อยู่ในธรรมชาติเมื่อมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยลงปลา ก็จะย้ายที่อยู่ไปอยู่ในที่มีปริมาณของออกซิเจนเพียงพอแต่ปลาที่ตายนั้นเป็นปลาที่ถูกเลี้ยงไว้ในกระชังเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเหลือน้อยจึงทำให้มีปลาตายเป็นจำนวนมาก

2. ครูให้นักเรียนอ่านสถานการณ์ในกิจกรรม

สมมติว่านักเรียนกำลังเรียนวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา ต้องทำการศึกษา ตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยการวัดค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ โดยใช้ชุด DO test kit และพบว่าท่อน้ำทิ้งข้างห้องน้ำมีค่า DO ต่ำ เกิดปัญหาทำให้ปลาตาย ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนครูและนักเรียนที่อยู่ใกล้บริเวณนั้น นักเรียนต้องทำการแก้ปัญหาโดยออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำให้มากขึ้นโดยใช้ขวดพลาสติก

โดยกำหนดปัจจัยที่ต้องการทดสอบดังนี้ ระดับความสูงและจำนวนชั้นของขวดน้ำพลาสติก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการเติมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำให้ได้มากที่สุด

จากนั้นนำนักเรียนอภิปรายตามประเด็นคำถามดังนี้

- ปัญหาในสถานการณ์นี้คืออะไร และนักเรียนต้องทำสิ่งใดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

- เงื่อนไขและข้อจำกัดของการทำกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์มีอะไรบ้าง
- การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้นักเรียนต้องมีองค์ความรู้ หรือกระบวนการใดบ้าง

3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรม ข้อที่ 1 จากนั้นให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออกซิเจนละลายในน้ำ (เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นให้นักเรียนสามารถศึกษาใบความรู้ที่ 1 รวมทั้งทำการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ด้วยตนเองในขั้นค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง)

4. ทบทวนความรู้นักเรียนเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการทดลอง และให้ความรู้เพิ่มเติมเรื่องกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

5. ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 5 คน พร้อมแจกใบกิจกรรม ใบบันทึกกิจกรรม และใบความรู้สำหรับทำกิจกรรม เรื่อง สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย จากนั้นชี้แจงแนวทางการทำกิจกรรมรวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนน

2. <u>ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง</u> (Explore ideas) (เวลา60 นาที)

6. นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อทบทวนเกี่ยวกับการทำภารกิจตามสถานการณ์ที่กำหนด พร้อมองค์ความรู้ ทักษะและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

7. ครูให้นักเรียนศึกษาใบความรู้ที่ 1 เรื่องออกซิเจนละลายในน้ำ ศึกษาเอกสารคู่มือการใช้ชุด DO Test kit และศึกษาวิธีการทดลองที่ 1 เรื่อง การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ จากนั้นร่วมกันอภิปรายก่อนทำการทดลองดังนี้

- ความหมายของค่า DO
- ความสำคัญของค่า DO
- ปัจจัยที่มีผลต่อค่า DO
- กระบวนการเพิ่มค่า DO ของน้ำ
- เทคนิควิธีการใช้อุปกรณ์ และข้อควรระวัง ขั้นตอนต่าง ๆ ในการใช้ชุด DO test kit
- วิธีการทดลอง การใช้อุปกรณ์เครื่องมือ
- ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

8. นักเรียนทำการทดลองที่ 1 เรื่อง การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ พร้อมตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 2 – 6 จากนั้นอภิปรายเกี่ยวกับระดับความสูงที่จะนำมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ (แต่ละกลุ่มอาจได้คำตอบที่แตกต่างกันขึ้นกับผลการทดลอง)

9. นักเรียนศึกษาวิธีทำการทดลองที่ 2 เรื่องการศึกษาปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากนั้นร่วมกันอภิปรายก่อนทำการทดลองดังนี้

- วิธีการทดลอง การใช้อุปกรณ์เครื่องมือ

- ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

10. นักเรียนทำการทดลองที่ 2 เรื่องการศึกษาปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ พร้อมตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 7 – 11 จากนั้นอภิปรายเกี่ยวกับจำนวนชั้นของขวดที่จะนำมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ (แต่ละกลุ่มอาจได้คำตอบที่แตกต่างกันขึ้นกับผลการทดลอง)

11. นักเรียนศึกษาวิธีทำการทดลองที่ 3 เรื่องการศึกษาค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียน จากนั้นร่วมกันอภิปรายก่อนทำการทดลองดังนี้

- วิธีการทดลอง การใช้อุปกรณ์เครื่องมือ

- ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

12. นักเรียนทำการทดลองที่ 3 เรื่องการศึกษาค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียน จำนวน 3 บริเวณ ได้แก่ 1 สระน้ำหน้าโรงเรียน 2. สระบัวหน้าหอประชุม 3. สระน้ำหลังอาคารเกษตร พร้อมตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 12 – 13 จากนั้นให้นักเรียนรายงานผลการตรวจวัดค่า DO จากแหล่งน้ำบริเวณต่าง ๆ อภิปรายเกี่ยวกับค่า DO ของแหล่งน้ำที่มีค่า DO ต่ำเพื่อที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำนั้น (แต่ละกลุ่มอาจได้คำตอบที่แตกต่างกันขึ้นกับผลการทดลอง)

13. ครูนำประเด็นสถานการณ์ที่กำหนดให้ในข้อ 2 เพื่อทบทวนประเด็นดังต่อไปนี้

13.1 ครูให้นักเรียนทบทวนปัญหาจากสถานการณ์และแนวทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมโดยใช้ประเด็นคำถามดังตัวอย่าง

- จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ สามารถสรุปปัญหาหรือวิธีการแก้ไขได้อย่างไร

แนวคำตอบ

ปัญหา เกิดจากปลาตาย ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนครูและนักเรียนที่อยู่ใกล้บริเวณนั้น โดยปลาตายเนื่องจากมีค่า DO ในน้ำต่ำ

วิธีการแก้ไขปัญหา ต้องการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือแบบจำลองอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำให้ได้มากที่สุด

13.2 ครูชี้แจงเงื่อนไขในการสร้างอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ดังนี้

ก. เลือกใช้วัสดุที่กำหนดให้ในการสร้างชิ้นงานเพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มแก๊สออกซิเจนได้มากที่สุดจากอุปกรณ์ที่กำหนดให้ เช่น ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด

600 และ1500 มิลลิลิตร ไม้เสียบลูกชิ้น ไม้ไอศกรีม ก้อนหินขนาดเล็ก ตะเกียบโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด

ข. อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการเติมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำได้มากที่สุด

ค. นักเรียนสามารถออกแบบสร้างอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนละลายน้ำตามที่ต้องการ โดยคำนึงถึง

1. ทรัพยากรที่มีอยู่ เช่นวัสดุที่เลือกใช้มีความเหมาะสม
2. วิธีการสร้างไม่ยากเกินไป
3. สามารถสร้างได้ในเวลาที่กำหนด

14. นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมและร่วมกันอภิปราย ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยอ้างอิงจากการทดลองที่ 1และ 2 การหาข้อมูลต้องมีเรื่อง กังหันน้ำชัยพัฒนา เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ แล้วตอบคำถามข้อที่14-15

15. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายแนวการตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 2- 11 พร้อมกับ สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำจากวัสดุที่กำหนดให้

16. นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายเพื่อหาแนวทางการประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ รวมถึงรูปแบบหรือวิธีในการสร้างเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำให้ได้มากที่สุด

ควรสรุปได้ว่า

- ความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เช่น หลักการหรือวิธีการต่าง ๆ ที่ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้น วัสดุอุปกรณ์ รูปแบบของกังหันน้ำชัยพัฒนา ฯลฯ

3. ขั้นการวางแผนและการพัฒนา (Plan and Develop) (เวลา120 นาที)

17. ครูให้นักเรียนออกแบบกระบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำโดย

- พิจารณาความสูงที่จะเลือกใช้โดยอ้างอิงจากการทดลองที่ 1
- พิจารณาจำนวนชั้นของขวดที่จะเลือกใช้โดยอ้างอิงจากการทดลองที่ 2
- พิจารณาแหล่งน้ำเสียที่จะเลือกในการบำบัดโดยอ้างอิงจากการทดลองที่ 3
- อภิปรายองค์ความรู้ ทักษะหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

- วิธีการเขียนแบบร่างตามแนวทางการทำงานของวิศวกร

- อภิปรายเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบและวางแผนสร้างสร้างสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ (อภิปรายเพื่อให้นักเรียนรู้แนวทาง ไม่ใช่การบอกใบ้คำตอบ ซึ่งแต่ละกลุ่มอาจมีแนวทางต่างกัน)

- การวาดภาพร่างและระบุขนาด/สัดส่วนอย่างชัดเจน

18. นักเรียนนำเสนอแนวคิดในการประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำตามที่ได้ออกแบบไว้

19. นักเรียนลงมือประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนด พร้อมตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 16 -18

4. ขั้นการทดสอบและประเมินผล (Test/evaluation)(เวลา 90 นาที**)**

20. นักเรียนทดสอบการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำของอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยใช้กับแหล่งน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย ซึ่งปัญหาที่อาจพบและแนวทางแก้ไขแสดงดังตารางต่อไปนี้

ปัญหาที่พบ	สาเหตุที่เป็นไปได้	แนวทางแก้ไข
อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพิ่มปริมาณค่า DO ได้น้อยมาก	-ความสูงของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นน้อย -การเจาะรูของขวดน้ำเพื่อให้น้ำหยดลงมาไม่เท่ากัน -จำนวนชั้นของขวดน้ำที่ให้น้ำไหลลงมา	-ให้ลำดับความสูงในการปล่อยน้ำให้มากขึ้น(ไม่เกิน 1 เมตร) -รูที่เจาะขวดน้ำต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน -เพิ่มจำนวนชั้นของขวดให้มากขึ้น

21. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาแข่งกันเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำและใช้ตัวอย่างน้ำจากแหล่งเดียวกันโดยวัดค่า DO ว่ากลุ่มใดสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำได้มากที่สุด พร้อมบันทึกในใบบันทึกกิจกรรมข้อที่ 19

5. ขั้นนำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)(เวลา 60 นาที)

22.ครูสุ่มกลุ่มของนักเรียนที่มีแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมปริมาณออกซิเจนในน้ำแตกต่างจากเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ มานำเสนอชิ้นงานและผลการทดสอบ

23. เปรียบเทียบผลงานแต่ละกลุ่มและร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปประเด็นต่าง ๆ เช่น

- ลักษณะหรือรูปแบบของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ
- การเลือกอุปกรณ์/งบประมาณที่ใช้
- แนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้จากการทำงาน
- ผลลัพธ์จากการทดสอบ
- ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพชิ้นงาน
- ความเป็นไปได้ในการนำอุปกรณ์จำลองไปสร้างจริง

24. ผู้เรียนตอบคำถามลงในคำถามท้ายกิจกรรม

ควรได้ข้อสรุปว่า

การสร้างชิ้นงานนั้นจะต้องมีการเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการออกแบบชิ้นงาน และควรจะต้องนำข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนละลายมาใช้เพื่อให้ชิ้นงานที่ทำขึ้นมีประสิทธิภาพ และการออกแบบชิ้นงานควรเชื่อมโยงไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่นของตนเองได้

เกณฑ์การให้คะแนน

1. ใบบันทึกกิจกรรม (10 คะแนน)
2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (15 คะแนน)

1. ใบบันทึกกิจกรรม (10 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	ระบุปัญหาและเงื่อนไขได้ถูกต้องสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ระบุปัญหาและเงื่อนไขไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ไม่มีการระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนด

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	มีการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นข้อมูลและจากการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรมได้ครบถ้วน	มีการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นข้อมูลหรือจากการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรม แต่ข้อมูลไม่ครบถ้วน	ไม่มีการระบุการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง
การวางแผนและการออกแบบชิ้นงาน	มีการวางแผนมีการวาดภาพร่าง พร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์และสัดส่วนที่ใช้ลงในแบบร่างครบถ้วน	มีการวางแผนมีการวาดภาพร่าง พร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์และสัดส่วนที่ใช้ลงในแบบร่าง แต่ไม่มีการระบุรายละเอียดให้ครบถ้วนสมบูรณ์	ไม่มีการวาดภาพร่าง
ประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ 5 mg/L ขึ้นไป	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ 3-4 mg/L	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ 1-2 mg/L
ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของใบบันทึกกิจกรรม	ใบบันทึกกิจกรรมมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ง่ายต่อการอ่าน	มีใบบันทึกกิจกรรมแต่ไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย หรือยากต่อการอ่าน	ไม่ส่งใบบันทึกกิจกรรม

2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (15 คะแนน)

ครูประเมินจากผลงาน การใช้แนวคิดในการออกแบบชิ้นงานและการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างชิ้นงาน ประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง การนำเสนอผลงาน และต้นทุนการผลิตชิ้นงาน โดยมีอัตราส่วนการให้คะแนนดังนี้

รายการที่ประเมิน	คะแนน
1. การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	3
2. การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	3
3. ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	3
4. การนำเสนอผลงาน	3
5. ต้นทุนการผลิตชิ้นงาน	3
คะแนนรวม	15

มาตรวัดการประเมินการปฏิบัติ

ที่	รายการที่ประเมิน	ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน	คะแนนเต็ม
1.	การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	1.1 ชิ้นงานที่ออกแบบไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ไม่ครบถ้วน	1	3
		1.2 ชิ้นงานที่ออกแบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ไม่ครบถ้วน	2	
		1.3 ชิ้นงานที่ออกแบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ได้ครบถ้วน	3	
2.	การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	2.1 ไม่มีการอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์	1	3
		2.2 สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้แต่อธิบายไม่มีเหตุผล หรือ ไม่ถูกต้อง	2	
		2.3 สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างมีเหตุผล	3	

ที่	รายการที่ประเมิน	ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน	คะแนนเต็ม
3.	ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	3.1 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานน้อยและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้น้อย	1	3
		3.2 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานมากและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้น้อย	2	
		3.3 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานมากและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้มาก	3	
4.	การนำเสนอผลงาน	4.1 มีการนำเสนอผลงานไม่เป็นขั้นตอนและอธิบายไม่ชัดเจน	1	3
		4.2 มีการนำเสนอผลงานไม่เป็นขั้นตอนแต่อธิบายชัดเจน	2	
		4.3 มีการนำเสนอผลงานเป็นขั้นตอนและอธิบายชัดเจน	3	
5.	ต้นทุนการผลิตชิ้นงาน	5.1 มีต้นทุนในการสร้างชิ้นงานมากกว่า 250 บาท	1	3
		5.2 มีต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน 250 บาท	2	
		5.3 มีต้นทุนในการสร้างชิ้นงานน้อยกว่า 250 บาท	3	

แบบประเมินการปฏิบัติ

กลุ่มที่ ..... นักเรียนระดับชั้น..... วันที่.....

สมาชิกในกลุ่ม 1. ..... 2. .....

3. ..... 4. .....

5. ..... 6. .....

ที่	รายการที่ประเมิน	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1.	การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน		
2.	การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์		
3.	ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง		
4.	การนำเสนอผลงาน		
5.	ต้นทุนการผลิตชิ้นงาน		
	คะแนนรวม	เต็ม 15 คะแนน	

สื่อและแหล่งเรียนรู้

1. หนังสือเรียนวิทยาศาสตร์โลกทั้งระบบ
2. เวปไซต์ หัวข้อกังหันน้ำชัยพัฒนา http://www.chaipat.or.th/site_content/19-248/18-chaipattana-water-turbine-development.htm

ข่าวเรื่อง ปลาในกระชังลอยตายแม่น้ำป่าสักสระบุรีสูญนับสิบล้าน

Written by: newmedia 01/04/ 2015 12:06 AM

สระบุรี 31 มี.ค.58 -จากกรณีมีปลาตายในกระชังบริเวณลำน้ำป่าสักในเขตพื้นที่ ม.8 ต.บ้านป่า และ อ.แก่งคอย จ.สระบุรี กว่า 200 กระชัง เมื่อวานนี้ มูลค่าความเสียหายไม่ต่ำกว่า 10 ล้านบาท

วันนี้ผู้สื่อข่าวลงพื้นที่ตรวจสอบอีกครั้งพบปลาที่น็อคน้ำตั้งแต่เมื่อวาน ลอยตายเป็นแพในกระชังปลาส่งกลิ่นเหม็นไปทั่ว นายพงษ์ศักดิ์ ชาลี ผู้ประกอบการเลี้ยงปลากระชัง เผยปลาในกระชัง ส่วนใหญ่เป็นปลาใหญ่ตายลงต่อเนื่องเพราะขาดออกซิเจน ซึ่งตนเองและผู้ประกอบการเลี้ยงปลา คาดเกิดจากโรงงานปล่อยสารเคมีลงน้ำทำให้ปลาตาย

ที่มา : http://www.tnamcot.com/content/152885

ใบความรู้ที่ 1
เรื่อง ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)

1. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

น้ำมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยมนุษย์เรานำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการอุปโภคบริโภค การประกอบอาชีพ ทั้งด้านการเกษตร อุตสาหกรรม ประมง คมนาคม ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาคุณภาพน้ำไว้เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีและรักษาภาวะสมดุลของระบบนิเวศในธรรมชาติ และแก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้และไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ซึ่งปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือที่เรียกว่า ค่า DO นิยมวัดในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือหน่วยในล้านส่วน (part per million: ppm) โดยน้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 3 ppm.

กิจกรรมบางอย่างของสิ่งมีชีวิต เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในน้ำ (aerobic bacteria) มีการใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำปริมาณมากทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

2. ความสำคัญของ DO

2.1 ค่า DO ในน้ำเสียสามารถบ่งบอกได้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่จะเกิดขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยพวกจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนอิสระเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย แต่จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน จะเกิดปฏิกิริยากับเกลืออนินทรีย์บางตัวเช่น ซัลเฟต เกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นการหาค่า DO จึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะรักษา ปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอ กับการที่น้ำในธรรมชาติจะรับเอาสิ่งสกปรกมาจากที่ต่าง ๆ

2.2 ค่า DO มีความสำคัญในการรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์อื่น คือให้มี DO ในปริมาณพอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

2.3 ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เพื่อหากำลังความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

2.4 ค่า DO ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยา การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจนเพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะมีออกซิเจนไว้ได้

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำและการเพิ่มค่า DO

3.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่า DO ถ้าอุณหภูมิสูง การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจะลดลงทำให้ค่า DO ต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำ การละลายของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า DO สูง ตัวอย่างค่า DO ในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ ข-1 ค่า DO ในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	**0**	**10**	**20**	**30**
DO (mg/L)	14.6	11.3	9.1	7.6

จากตารางที่ 1-1 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมีค่า DO สูง แสดงว่ามีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำปริมาณมาก ส่วนที่อุณหภูมิสูง น้ำมีค่า DO ต่ำ แสดงว่ามีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำปริมาณน้อย (มนนภา เทพสุด, 2548)

3.2 ปริมาณสารละลายในน้ำ หรือความปนเปื้อนของน้ำ

ปริมาณสารละลายในน้ำ จะแปรผกผันกับค่า DO โดยถ้ามีสารละลายในน้ำอยู่มากออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย โดยอ้างจากข้อมูลกระทรวงสาธารณสุข, 2537 ได้แสดงค่า DO ที่มีปริมาณคลอรีนในน้ำ ณ อุณหภูมิ และความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ ข-2 ค่า DO ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเคมี (คลอรีน) ในน้ำต่างกัน

อุณหภูมิ	ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
°C	Chlorinity: 0	5	15	25
0	14.621	13.728	12.097	**10.657**
5	12.770	12.024	10.656	**9.441**
10	11.288	10.656	9.493	**8.454**
15	10.084	9.541	8.540	**7.642**
20	9.092	8.621	7.749	**6.964**
25	8.263	7.850	7.083	**6.390**
30	7.559	7.194	6.513	**5.896**

35	6.950	6.624	6.017	**5.464**
40	6.412	6.121	5.576	**5.078**

ที่มา กระทรวงสาธารณสุข, 2537

จากตารางที่ 1-2 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณของคลอรีนเพิ่มมากขึ้น ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ค่า DO ของน้ำจะมีค่าลดลง แสดงว่ามีแก๊สออกซิเจนละลายในน้ำได้ปริมาณน้อยเมื่อมีปริมาณของสารละลายในน้ำเพิ่มมากขึ้น

3.3 ความดันบรรยากาศ

การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำ มีลักษณะแปรผกผันตรงกับค่าความดันบรรยากาศ โดยที่ระดับน้ำลึก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะน้อยกว่าที่ระดับน้ำตื้น เมื่ออากาศสัมผัสกับผิวหน้าน้ำ แก๊สออกซิเจนจะถูกดูดกลืนตรงบริเวณผิวน้ำจนกระทั่งความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนในน้ำอิ่มตัวด้วยอากาศเท่ากับความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนในอากาศอิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดสภาวะสมดุลขึ้น ณ จุดนี้เรียกได้ว่า น้ำอิ่มตัวด้วยออกซิเจน เมื่อความดันอากาศเหนือน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแก๊สออกซิเจนก็จะละลายได้มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น

4. กระบวนการเพิ่มค่า DO ของน้ำ

4.1. กระบวนการเติมอากาศลงในน้ำ (reaeration) เป็นกระบวนการเติมแก๊สออกซิเจนจากอากาศผ่านผิวน้ำเมื่อปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยกว่าการละลายอิ่มตัวของแก๊สออกซิเจนยกตัวอย่างเช่น กังหันน้ำชัยพัฒนา ปั๊มเติมอากาศ

4.2 การปลูกพืชบางชนิด โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำรวมทั้งแพลงก์ตอนพืช เป็นกระบวนการเพิ่ม DO ในน้ำ เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สออกซิเจน แต่กระบวนการหายใจของพืชน้ำและสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นการใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำ กระบวนการเติมอากาศลงในน้ำ การสังเคราะห์แสง และการหายใจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ

4.3 กระบวนการย่อยสลายของของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (organic wastes) โดยสารอินทรีย์ร้อยละ 70 ที่พบในน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนและชุมชนได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจก่อให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจน ทำให้แก๊สออกซิเจนละลายในน้ำไม่เพียงพอ เกิดสภาวะขาดแก๊สออกซิเจน สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียย่อยสลายดังนี้

4.3.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria decomposition) ใช้ออกซิเจนในน้ำในการย่อยสลายเกิดผลิตภัณฑ์เป็น CO_2 น้ำ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และไนเตรตไอออน (NO_3^-) เป็นต้น ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะถูกใช้ไปเรื่อย ๆ ถ้าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีมากจนกระทั่งมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าอัตราการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงในน้ำ มีผลทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงหรืออาจจะหมดไปในที่สุด ทำให้สัตว์น้ำตายลงได้

4.3.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (anaerobic bacteria decomposition) แต่ใช้ออกซิเจนจากซัลเฟต(SO_4^{2-}) และไนเตรตไอออน(NO_3^-) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้ำ แก๊สไนโตรเจน (N_2) และแก๊ส CO_2 เป็นต้น

ที่มา : กรมอนามัย. (2537). *คู่มือตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี.*

พูลสุข โพธิรักขิต-ปรัชญานุสรณ์. (2553). *เคมีสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ลม ไฟ.*

มนนภา เทพสุด. (2548). *ปฏิบัติการเคมีทั่วไป.*

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2555). *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทาง เคมี.*

การทดลองที่ 1

การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	กระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร	3 อัน
2	กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร	1 อัน
3	ขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร	4 ใบ
4	ขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร	1 ใบ
5	ขวดสีชาขนาด 50 มิลลิลิตร	3 ใบ
6	หลอดหยด	1 อัน
7	กรรไกร	1 อัน
8	ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 1500 มิลลิลิตร	2 ขวด
9	เชือก	1 ม้วน
10	บีกเกอร์	1000 ml
11	หัวแล้ง	1 อัน
12	กรรไกร	1 อัน
13	มีดคัดเตอร์	1 อัน
14	ดินน้ำมัน	1 ก้อน

สารเคมี

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	สารละลายแมงกานีสซัลเฟต($MnSO_4 \cdot H_2O$)	5 มิลลิลิตร
2	สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดด์ เอไซด์	5 มิลลิลิตร
3	น้ำแป้ง	5 มิลลิลิตร
4	กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	5 มิลลิลิตร
5	สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต0.001125 N	30 มิลลิลิตร

หมายเหตุ

กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ในจะมีความเข้มข้นมาก เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจึงควรใช้อย่างระมัดระวัง

ควรให้นักเรียนใส่อุปกรณ์สำหรับป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทดลอง ได้แก่ ถุงมือยาง แว่นตา และผ้าปิดปาก

วิธีการทดลอง

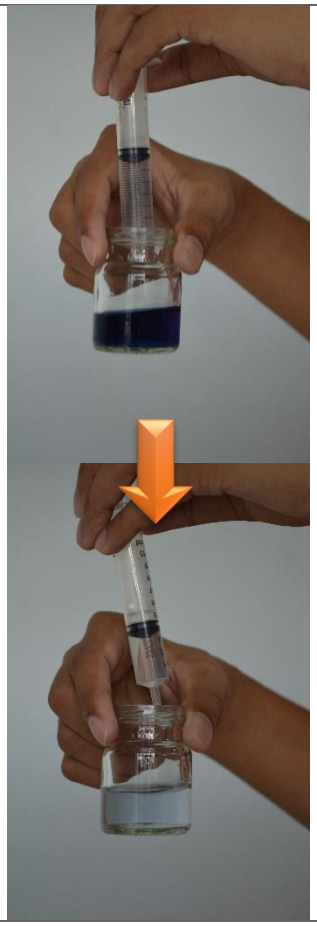
1. ศึกษาคู่มือวิธีการตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) โดยใช้ชุดตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในภาคสนามดังนี้

วิธีการทดลอง	ภาพประกอบ
1. ล้างขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร ด้วยน้ำตัวอย่างที่ต้องการเก็บ 2-3 ครั้ง แล้วจุ่มขวดเก็บตัวอย่างลงในน้ำ ให้ขวดตัวอย่างจมอยู่ใต้ผิวหน้าน้ำปล่อยให้น้ำไหลสู่ขวดจนเต็มเคาะขวดเก็บตัวอย่างน้ำเบา ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศ	
2. ปิดจุกขวดให้เรียบร้อยในขณะที่ขวดเก็บตัวอย่างยังจมอยู่ในน้ำแล้วจึงยกขวดขึ้นจากน้ำ	

วิธีการทดลอง	ภาพประกอบ
3. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 0.2 มิลลิลิตร และอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซด์ 0.2 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่น้ำตัวอย่างโดยให้ปลายเข็มฉีดยาอยู่ในน้ำตัวอย่างปิดฝาขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศแล้วผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขึ้นลง 15 ครั้ง - เมื่อเติมสารละลาย $MnSO_4$ และสารละลายอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซด์ ลงไปในน้ำตัวอย่างจะเกิดตะกอนสีขาวของ $Mn(OH)_2$ (Manganese(II) hydroxide)แสดงว่าไม่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ถ้ามีปริมาณออกซิเจนในน้ำเกิดจะตะกอนสีน้ำตาลดำของ MnO_2 (Manganese(IV) oxide)	
4. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส ½ ของขวด	
5. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร	

วิธีการทดลอง	ภาพประกอบ
6. ปิดฝาขวดและเขย่ากลับไปกลับมาประมาณ15 ครั้ง ให้ตะกอนที่มีอยู่ละลายหมด	
7. เทน้ำตัวอย่างจากข้อ 6 ลงในขวดแก้วใสไม่มีสี ขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตรแล้วตวงตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตรด้วยกระบอกฉีดยาขนาด10 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร	

วิธีการทดลอง	ภาพประกอบ
8. นำน้ำตัวอย่างจากข้อ 7 ที่เตรียมไว้มาหยดด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125N โดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน	

วิธีการทดลอง	ภาพประกอบ
9. เติมน้ำแป้ง 0.2 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตรจะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม หยดสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.00125N ต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป อ่านปริมาตรของสารละลายที่ใช้แล้วบันทึกผลการทดลอง (สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้สำหรับการไทเทรตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร โดยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร)	

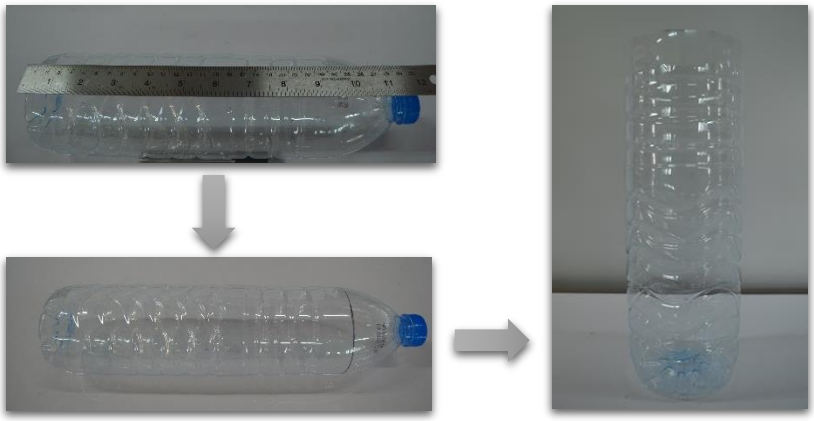
หมายเหตุ

- การทำซ้ำให้ใช้ขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำ 3 ขวดพร้อมกันแล้วทำการทดลองตั้งแต่ข้อที่ 1 – 9 ตามลำดับ
- กรณีที่น้ำมีค่า DO ต่ำมาก ให้ใช้กระบอกฉีดยาขนาด1 มิลลิลิตร

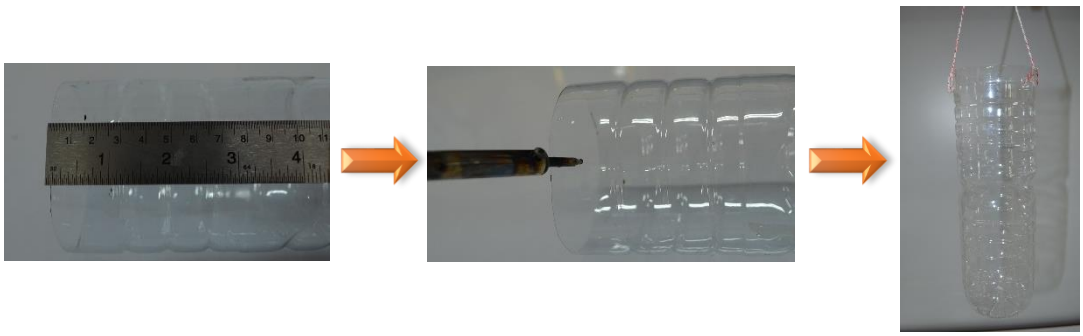
2. ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับความสูงของระดับน้ำที่ปล่อยโดยทำการศึกษาดังนี้

2.1 นำขวดพลาสติกขนาด 1500 ml มาเจาะรูโดยใช้หัวแร้งเจาะที่ก้นขวดบริเวณตรงกลางจำนวน 1 รู

2.2 นำไม้บรรทัดวัดความยาวจากก้นขวดยาว 24 เซนติเมตร แล้วใช้ปากกาขีดรอบ ๆ ขวดและใช้คัตเตอร์ตัดตามรอบที่ขีดไว้



2.3 วัดความยาวจากปากขวดที่ตัดไว้ลงมายาว 1.5 เซนติเมตร แล้วใช้หัวแร้งเจาะรู จำนวน 1 รู และทำการวัดด้านตรงข้ามของรูที่เจาะทำการวัดและเจาะรูเหมือนเดิม แล้วใช้เชือกร้อยรูและผูกทั้ง 2 ข้าง



2.4 นำขวดไปแขวนในบริเวณที่จัดเตรียมไว้ โดยใช้ไม้เมตรวัดความสูงจากพื้นถึงก้นขวด และทดลองใส่น้ำปริมาตร 1000 ml เพื่อให้ได้ความสูงที่แน่นอน แล้วผูกเชือกให้ได้ระยะตามต้องการที่ระดับความสูงที่กำหนดไว้ให้ในแต่ละกลุ่ม

2.5 ทำการวัดค่า DO ของน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ ก่อนและหลังการทดลอง บันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตาราง

หมายเหตุ

- กำหนดให้ กลุ่มที่ 1-2, 3-4, 5, 6, 7ศึกษาที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80 และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ
- ในขั้นตอนการผูกเชือกที่เจาะรูไว้ให้นักเรียนกำหนดความยาวของเชือกเองเพราะระดับความสูงของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน
- ในขั้นตอนการทดลองใส่น้ำเพื่อวัดระยะความสูงของขวดน้ำให้ใช้ดินน้ำมันอุดรูที่เจาะไว้

3. นำเสนอผลการทดลองและร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองที่ 2

การศึกษาปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่มีผลต่อค่า DO เพื่อใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	กระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร	3 อัน
2	กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร	1 อัน
3	ขวดแก้วใสไม่มีสีขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร	4 ใบ
4	ขวดใสปริมาตร 60 มิลลิลิตร	1 ใบ
5	ขวดสีชาขนาด 50 มิลลิลิตร	3 ใบ
6	หลอดหยด	1 อัน
7	กรรไกร	1 อัน
8	ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 1500 มิลลิลิตร	2 ขวด
9	เชือก	1 ม้วน
10	ถาดรองน้ำ	1 ใบ
11	หัวแล้ง	1 อัน
12	กรรไกร	1 อัน
13	มีดคัดเตอร์	1 อัน
14	ดินน้ำมัน	1 ก้อน
15	ไม้ไอศกรีม	6 อัน
16	ยางวง	1 ถุง

สารเคมี

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	สารละลายแมงกานีสซัลเฟต($MnSO_4 \cdot H_2O$)	5 มิลลิลิตร
2	สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดด์ เอไซด์	5 มิลลิลิตร
3	น้ำแป้ง	5 มิลลิลิตร
4	กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	5 มิลลิลิตร
5	สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต0.001125 N	30 มิลลิลิตร

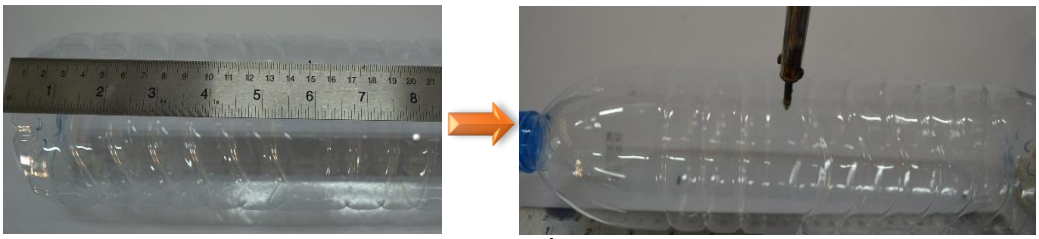
หมายเหตุ

กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ในจะมีความเข้มข้นมาก เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจึงควรใช้อย่างระมัดระวัง

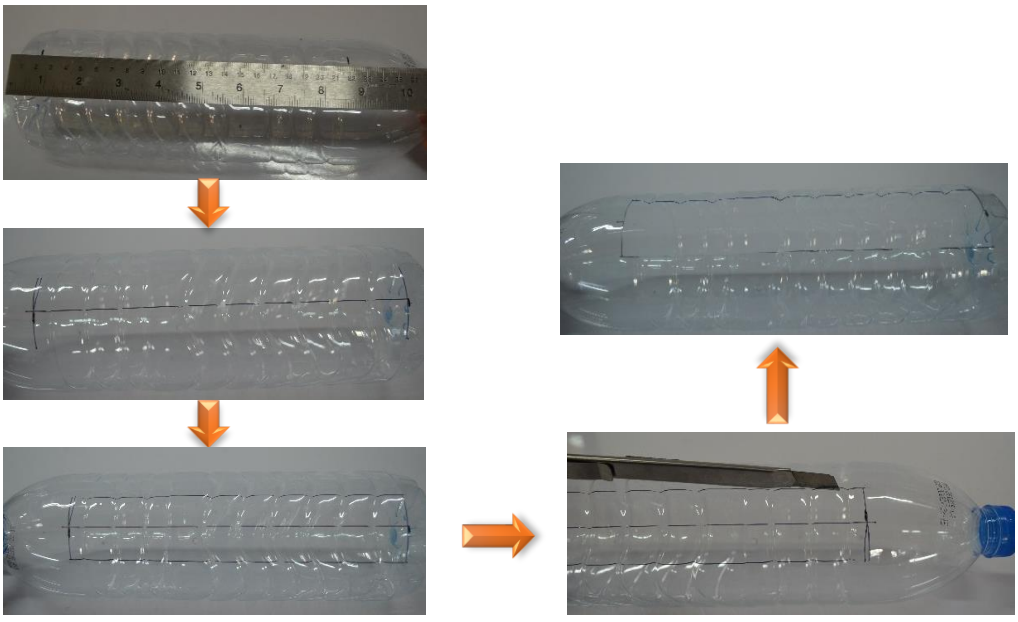
ควรให้นักเรียนใส่อุปกรณ์สำหรับป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทดลอง ได้แก่ ถุงมือยาง แว่นตา และผ้าปิดปาก

ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับจำนวนชั้นของขวดที่ปล่อยน้ำลงมามีขั้นตอนดังนี้

1. นำขวดพลาสติกขนาด 1500 ml มาวัดความยาวจากก้นขวดยาว 15 เซนติเมตร ใช้ปากกาขีดและเจาะรูตรงกลางขวดโดยใช้หัวแร้งเจาะจำนวน 1 รู



2. นำไม้บรรทัดวัดความยาวด้านตรงข้ามที่เจาะรูไว้โดยวัดจากก้นขวด แล้วใช้ปากกาขีดไว้ที่ความยาว 2 และ 22 เซนติเมตร ขีดเส้นยาวจากจุดที่วัด จากนั้นวัดความกว้าง ข้างละ 2 เซนติเมตร จากตำแหน่งที่วัดไว้ แล้วใช้ปากกาขีดตามที่วัดไว้เป็นสี่เหลี่ยม และใช้คัดเตอร์ตัดตามรอบที่ขีดไว้ โดยให้นักเรียนเตรียมขวดตามจำนวนชั้นที่นักเรียนได้ทำการทดลอง



3. ใช้เชือกผูกไม้ไอศกรีมเพื่อวางขวดให้อยู่ในแนวนอนโดยระยะห่างของขวดในแต่ละชั้นห่างกัน 20 เซนติเมตร แล้วนำขวดไปแขวนในบริเวณที่จัดเตรียมไว้ ใช้ไม้เมตรวัดความสูงจากพื้นถึงก้นขวด ที่ระดับความสูง 60 เซนติเมตร และทดลองใส่น้ำปริมาตร 1000 ml เพื่อให้ได้ความสูงที่แน่นอน และ ให้ทำการทดลองปล่อยน้ำให้ไหลลงขวดในแต่ละระดับชั้นแล้วค่อยทำการทดลอง

4. ทำการวัดค่า DO ของน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ ก่อนและหลังการทดลอง บันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตาราง

หมายเหตุ

- กำหนดให้ กลุ่มที่ 1- 2, 3-4 และ 5-7 ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับจำนวนชั้นของขวดน้ำ โดยกำหนดที่จำนวนชั้นคือ 1, 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ
- กำหนดความสูงที่ระดับเดียวกันคือ 60 เซนติเมตร
- ในขั้นตอนการทดลองใส่น้ำเพื่อวัดระยะความสูงของขวดน้ำให้ใช้ดินน้ำมันอุดรูที่เจาะไว้

การทดลองที่ 3
การศึกษาค่า DO ในแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียน

1. ให้แต่ละกลุ่มเลือกแหล่งน้ำภายในบริเวณโรงเรียนจำนวน 3 บริเวณ ได้แก่
   1 สระน้ำหน้าโรงเรียน
   2. สระบัวหน้าหอประชุม
   3. แหล่งน้ำบริเวณข้างอาคารเกษตร

โดยกำหนดให้กลุ่มที่ 1-2, 3-4, 5-7 ทำการตรวจวัดค่า DO บริเวณสระน้ำหน้าโรงเรียน, สระบัวหน้าหอประชุม และ แหล่งน้ำบริเวณข้างอาคารเกษตร

2. ทำการวัดค่า DO โดยใช้ชุด DO test kit ที่บริเวณแหล่งน้ำ
3. นำเสนอและร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง

ใบบันทึกกิจกรรม

(ตัวอย่างการบันทึกกิจกรรม)

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนสามารถระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ได้อย่างไร

ปัญหา ปลาตาย ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนครูและนักเรียน

สาเหตุ ปลาตายเนื่องจากปลาขาดออกซิเจน เพราะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อย

เงื่อนไข ประดิษฐ์อุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำให้มากขึ้นโดยใช้ขวดพลาสติก

ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัย(ระดับความสูงและจำนวนชั้นของขวดน้ำพลาสติก) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการเติมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำให้ได้มากที่สุด

ทำการทดลองที่ 1 จากนั้นตอบคำถามข้อ 2 – 6

2. เขียนสมมติฐานของการทดลอง

เมื่อปล่อยน้ำจากระดับน้ำที่แตกต่างกัน ระดับน้ำที่ปล่อยลงมาสูงสุดจะวัดค่า DO ได้มากสุด

3. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

3.1 ตัวแปรต้น ระดับความสูงของขวดที่ปล่อยน้ำลงมา

3.2 ตัวแปรตาม ค่า DO

……

3.3 ตัวแปรควบคุม -ขนาดของขวด

-จำนวน 1 รูและขนาดของรูเท่ากัน

-ปริมาตรน้ำ 1000 มิลลิลิตร

-น้ำจากแหล่งเดียวกัน

-ปล่อยน้ำพร้อมกัน

-ทดลองที่สภาวะเดียวกันคือ เวลา และอุณหภูมิเดียวกัน

4. บันทึกผลการทดสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำจากปัจจัยเกี่ยวกับความสูงของระดับน้ำ

ตารางบันทึกผลการทดสอบปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำที่ระดับความสูง ..... เซนติเมตร

ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
	ปริมาตรของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาตรของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่า DO (mg/L)	
20	0.3	0.3	2.8	2.8	2.5
40	0.3	0.3	3.5	3.5	3.2
60	0.3	0.3	4.0	4.0	3.7
80	0.3	0.3	4.5	4.5	4.2
100	0.3	0.3	4.6	4.6	4.3
หมายเหตุ ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง	0.3	0.3	-	-	-

5. สรุปผลการทดลอง

การวัดค่า DO โดยการเปรียบเทียบที่ระดับความสูงต่างกัน พบว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณของค่า DO ที่วัดได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

6. ระดับความสูงที่เลือกคือระดับใด เพราะเหตุใด

จากการทดลองการวัดค่า DO โดยการเปรียบเทียบที่ระดับความสูงต่างกัน พบว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณของค่า DO ที่วัดได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เพราะน้ำที่ปล่อยจากระดับความสูงมากออกซิเจนก็จะละลายในน้ำได้มากทำให้ตรวจวัดค่า DO ได้มากขึ้น

ทำการทดลองที่ 2 จากนั้นตอบคำถามข้อ 7 – 11

7. เขียนสมมติฐานของการทดลอง

เมื่อปล่อยน้ำจากจำนวนชั้นของขวดน้ำที่ปล่อยลงมาแตกต่างกัน จำนวนชั้นที่มากสุดจะวัดค่า DO ได้มากสุด

8. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

8.1 ตัวแปรต้น ..... จำนวนชั้นของขวดที่ปล่อยน้ำลงมา .....

8.2 ตัวแปรตาม..... ค่า DO .....

.....

8.3 ตัวแปรควบคุม ..... -ขนาดของขวด .....

..... -จำนวน 1 รูและขนาดของรูเท่ากัน .....

..... -ปริมาตรน้ำ 1000 มิลลิลิตร .....

..... -น้ำจากแหล่งเดียวกัน .....

..... -ปล่อยน้ำพร้อมกัน .....

..... -ทดลองที่สภาวะเดียวกันคือ เวลา และอุณหภูมิเดียวกัน .....

.....

9. บันทึกผลการทดสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำจากปัจจัยจำนวนชั้นของขวดที่ปล่อยน้ำลงมา

ตารางบันทึกผลการทดสอบปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำที่จำนวน.....ชั้น

จำนวนชั้นของขวด	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
	ปริมาตรของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาตรของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ (ml)	ค่า DO (mg/L)	
1	0.0	0.0	4.7	4.7	**4.7**
2	0.0	0.0	6.1	6.1	**6.1**
3	0.0	0.0	6.4	6.4	**6.4**
หมายเหตุ ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง	0.0	0.0	-	-	-

10. สรุปผลการทดลอง

การวัดค่า DO โดยการเปรียบเทียบจำนวนชั้นของขวดต่างกัน พบว่าเมื่อระดับชั้นเพิ่มขึ้นปริมาณของค่า DO ที่วัดได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

11. จำนวนชั้นของขวดที่ปล่อยน้ำลงมา นักเรียนควรเลือกจำนวนชั้นของขวดใด เพราะเหตุใด

จากการทดลองการวัดค่า DO โดยการเปรียบเทียบจำนวนชั้นของขวดต่างกัน พบว่าเมื่อระดับชั้นเพิ่มขึ้นปริมาณของค่า DO ที่วัดได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นควรเลือกที่จำนวน 3 ชั้นเพราะสามารถเพิ่มค่า DO ได้มากที่สุด

ทำการทดลองที่ 3 จากนั้นตอบคำถามข้อ 12 – 13

12. การตรวจวัดค่า DO ในแหล่งน้ำบริเวณโรงเรียน

12.1 แหล่งน้ำที่เลือกตรวจสอบอยู่บริเวณ สระน้ำหน้าโรงเรียน

12.2 ผลการตรวจวัดค่าDO ในแหล่งน้ำที่ทำการทดลอง (ออกแบบตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง)

ตรวจวัดค่า DOครั้งที่	ปริมาตรที่ใช้ โซเดียมไธโอ-ซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาณค่า DO เฉลี่ย (mg/L)
1	8.2	8.2	
2	8.2	8.2	8.2
3	8.2	8.2	

12.3 แหล่งน้ำที่เลือกตรวจสอบอยู่บริเวณ.....สระบัวหน้าหอประชุม.....

12.4 ผลการตรวจวัดค่าDO ในแหล่งน้ำที่ทำการทดลอง (ออกแบบตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง)

ตรวจวัดค่า DO ครั้งที่	ปริมาตรที่ใช้ โซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาณค่า DO เฉลี่ย (mg/L)
1	7.6	7.6	**7.6**
2	7.6	7.6	
3	7.6	7.6	

12.5 แหล่งน้ำที่เลือกตรวจสอบอยู่บริเวณ.....น้ำประปา.....

12.6 ผลการตรวจวัดค่าDO ในแหล่งน้ำที่ทำการทดลอง (ออกแบบตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง)

ตรวจวัดค่า DO ครั้งที่	ปริมาตรที่ใช้ โซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาณค่า DO เฉลี่ย (mg/L)
1	6.4	6.4	**6.4**
2	6.4	6.4	
3	6.4	6.4 สระน้ำหลังห้องสมุด	

12.7 แหล่งน้ำที่เลือกตรวจสอบอยู่บริเวณ.....

12.8 ผลการตรวจวัดค่าDO ในแหล่งน้ำที่ทำการทดลอง (ออกแบบตารางบันทึกข้อมูลจากการทดลอง)

ตรวจวัดค่า DOครั้งที่	ปริมาตรที่ใช้ โซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ค่า DO (mg/L)	ปริมาณค่า DO เฉลี่ย (mg/L)
1	0.2	0.2	**0.2**
2	0.2	0.2	
3	0.2	0.2	

13. แหล่งน้ำในบริเวณใดที่นักเรียนเลือกเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำ เพราะเหตุใด

สระน้ำหลังห้องสมุด เพราะค่า DO ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

14. ยกตัวอย่างพร้อมอธิบายความรู้หรือกระบวนการที่นำมาใช้ในการออกแบบและผลิตสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เติมออกซิเจนในน้ำ มา 3 ตัวอย่าง

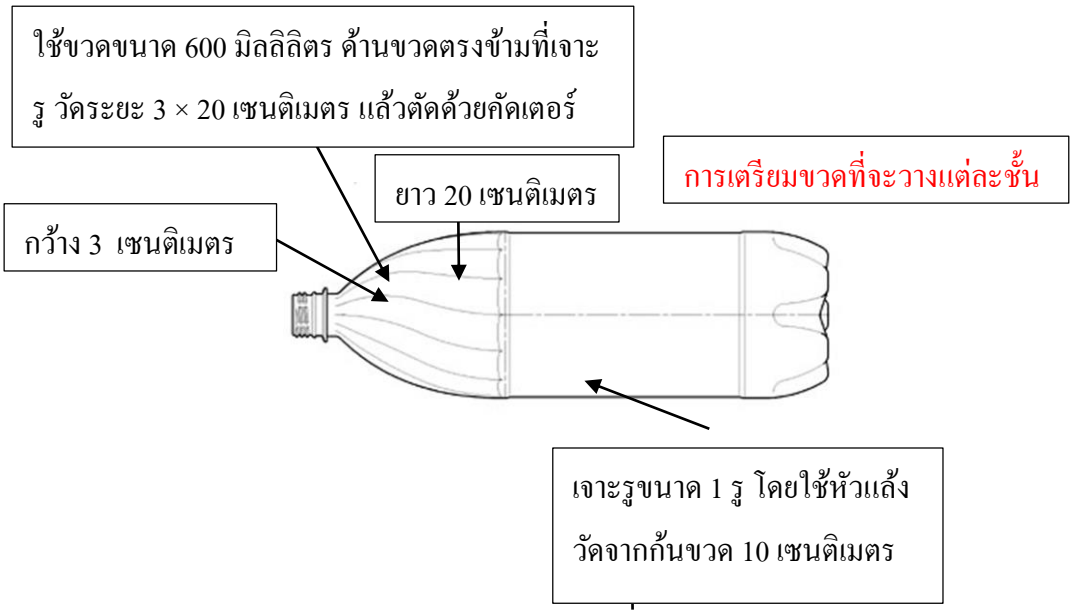
ความรู้ / กระบวนการ	**การนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต**
การใช้ DO test kit ตรวจวัดค่า DO	เป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำว่ามีคุณภาพดีหรือไม่เพื่อเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียต่อไป
ปัจจัยที่มีผลต่อการประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มออกซิเจนในน้ำ	นำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์
การเพิ่มออกซิเจนในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ เช่น กังหันน้ำชัยพัฒนา	เป็นต้นแบบในการสร้างอุปกรณ์เติมออกซิเจนในน้ำและเพื่อให้มีการเติมออกซิเจนในน้ำให้ได้มากที่สุด

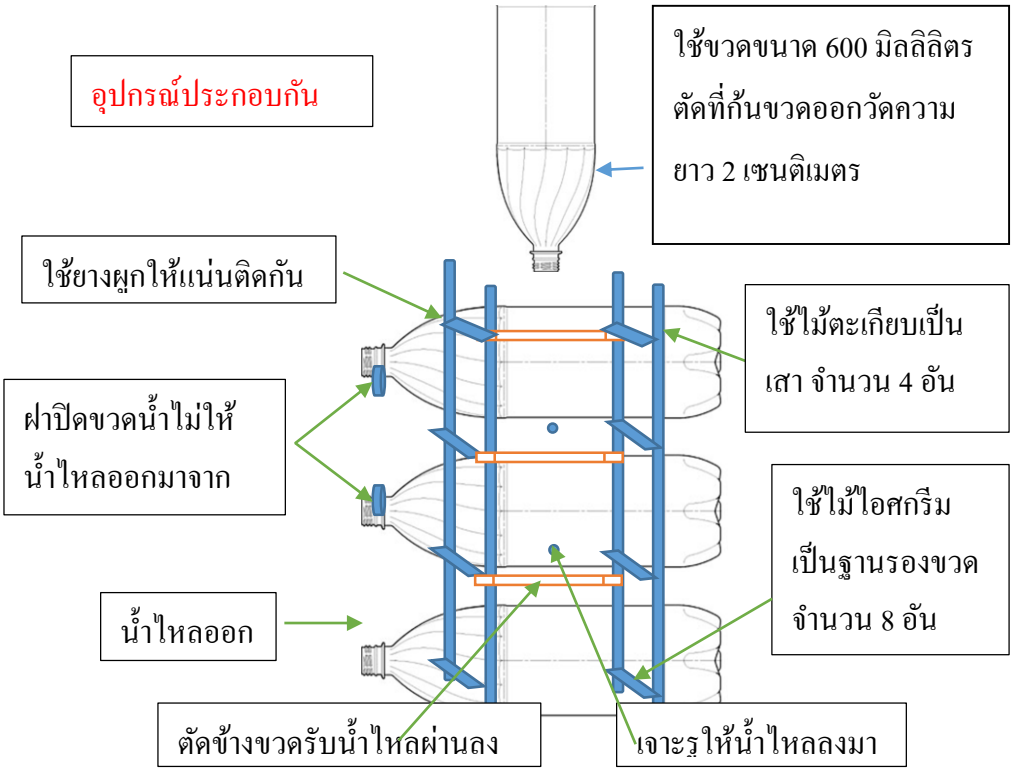
15. อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำที่จะสร้างเพื่อแก้ปัญหาในข้อ 1 ควรมีลักษณะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

นักเรียนสามารถแสดงความคิดที่หลากหลาย(พิจารณาคำตอบของนักเรียนแต่ละกลุ่ม) โดยร่วมกันสรุปวิธีการแก้ปัญหา เช่น - การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน กังหันน้ำ การทำให้น้ำไหลเป็นลำดับชั้น เป็นต้น เพราะ น้ำจะได้สัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้มากขึ้น

16. ภาพร่างแบบอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำที่จะสร้างพร้อมระบุขนาด สัดส่วนของสิ่งประดิษฐ์ รวมทั้งอธิบายรายละเอียดอื่น ๆ

ชื่อสิ่งประดิษฐ์ ..... สิ่งประดิษฐ์จากขวดน้ำพลาสติกพิชิตคุณภาพน้ำ .....





17. เขียนแผนผังอธิบายขั้นตอนการทดสอบพร้อมบันทึกผลการทดสอบการใช้อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำในแหล่งน้ำเสีย (ตามการทดลองออกแบบสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในแต่ละกลุ่ม)

วัดค่า DO ของแหล่งน้ำที่จะเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

↓

นำตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำปริมาตร 1000 มิลิลิตร ลงในสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

↓

ทำการวัดค่า DO จากตัวอย่างน้ำที่ทำการเพิ่มค่า DO แล้ว บันทึกผล

บริเวณแหล่งน้ำ..... .....

ตรวจวัดค่า DOครั้งที่	ค่า DO ก่อนการเติมออกซิเจน (mg/L)	ค่า DO หลังการเติมออกซิเจน (mg/L)	ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
1			
2			
3			
เฉลี่ย			

18. อธิบายการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ (กรณีที่ผลการทดสอบไม่บรรลุผลตามที่ต้องการหรือมีการปรับปรุงชิ้นงาน)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

19. บันทึกผลการแข่งขัน (ผลการทดลองวัดค่า DO จากการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในแต่ละกลุ่ม)

กลุ่มที่ .....

ตรวจวัดค่า DOครั้งที่	ค่า DO ก่อนการทดสอบ (mg/L)	ค่า DO หลังการทดสอบ (mg/L)	ปริมาณค่า DO ที่เพิ่มขึ้น (mg/L)
1			
2			
3			
เฉลี่ย			
ลำดับที่ได้			

คำถามท้ายกิจกรรม

1. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อค่า DO และส่งผลต่อการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

-ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า DO ได้แก่

1. อุณหภูมิ จะแปรผกผันกับค่า DO ถ้าอุณหภูมิสูง การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจะลดลงทำให้ค่า DO ต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำ การละลายของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นทำให้ค่า DO สูง

2. ปริมาณสารละลายในน้ำ หรือความปนเปื้อนของน้ำ ปริมาณสารละลายในน้ำ จะแปรผกผันกับค่า DO โดยถ้ามีสารละลายในน้ำอยู่มาก ออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย

3. ความดันบรรยากาศ การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำ มีลักษณะแปรผกผันตรงกับค่าความดันบรรยากาศ โดยที่ระดับน้ำลึก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะน้อยกว่าที่ระดับน้ำตื้น

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

1. ความสูงของระดับน้ำที่ปล่อยลงมา

2. จำนวนชั้นของขวดที่ปล่อยน้ำลงมา

2. อุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ สามารถทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นได้อย่างไร

เพราะ น้ำมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นค่า DO ที่วัดได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

3. ถ้าหากต้องการให้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำให้ได้มากขึ้นกว่าเดิมนักเรียนควรจะปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ของนักเรียนอย่างไร

ปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนระดับชั้นของน้ำที่ปล่อยลงมา หรือเพิ่มระดับความสูงให้สูงขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนได้มากที่สุด

4. สิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ ที่สร้างขึ้นสามารถพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงได้หรือไม่ อย่างไร

สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงโดยการใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ในการประดิษฐ์เช่น ทำเขื่อนกั้นน้ำให้น้ำไหลลงเป็นลำดับชั้น การทำกังหันวิดน้ำในแหล่งน้ำที่มีน้ำไหล การทำกังหันบำบัดน้ำในแหล่งน้ำนิ่งจากวัสดุที่หาได้ง่ายเช่นกระป๋อง พลาสติกเหลือใช้ เป็นต้น

ใบงาน
เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

คำชี้แจง อ่านสถานการณ์ที่กำหนดให้ จากนั้นทำการทดลองและและสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามสถานการณ์ที่กำหนด

กลุ่มของนักเรียนได้ประดิษฐ์อุปกรณ์เติมออกซิเจนในน้ำ จากขวดพลาสติก และนักเรียนนำมาทดลองใช้บำบัดแหล่งน้ำเสียบริเวณท่อน้ำทิ้งของโรงเรียน พบว่าน้ำมีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้นจึงสร้างอุปกรณ์นี้ใช้บำบัดน้ำเสียในบริเวณต่าง ๆ ของโรงเรียนและชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่

ที่มา : http://myking13191.blogspot.com/2015/02/blog-post_39.html

แต่เมื่อใช้ไปนาน ๆ นักเรียนพบว่าเกิดปัญหาขวดพลาสติกแตก หัก ใช้บำบัดน้ำไม่ได้ ด้วยเหตุนี้นักเรียนจึงต้องการที่จะพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ให้มีอายุการใช้งาน และประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้สิ่งประดิษฐ์นี้ใช้บำบัดน้ำเสียได้นาน นักเรียนจะใช้สิ่งใดประดิษฐ์อุปกรณ์เติมออกซิเจนในน้ำแทนขวดพลาสติก และใช้เวลาในการออกแบบและสร้างไม่เกิน 2 สัปดาห์

การวัดและประเมินผล

1. ใบบันทึกกิจกรรม (10 คะแนน)
2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (15 คะแนน)

1. ใบบันทึกกิจกรรม (10 คะแนน)

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	ระบุปัญหาและเงื่อนไขได้ถูกต้องสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ระบุปัญหาและเงื่อนไขไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด	ไม่มีการระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนด
การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	มีการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นข้อมูลและจากการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรมได้ครบถ้วน	มีการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องจากการสืบค้นข้อมูลหรือจากการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลประกอบการทำกิจกรรม แต่ข้อมูลไม่ครบถ้วน	ไม่มีการระบุการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง
การวางแผนและการออกแบบชิ้นงาน	มีการวางแผนมีการวาดภาพร่าง พร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์ และสัดส่วนที่ใช้ลงในแบบร่างครบถ้วน	มีการวางแผนมีการวาดภาพร่าง พร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์และสัดส่วนที่ใช้ลงในแบบร่าง แต่ไม่มีการระบุรายละเอียดให้ครบถ้วนสมบูรณ์	ไม่มีการวาดภาพร่าง
ประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มากกว่าสิ่งประดิษฐ์จากขวดพลาสติก	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้เท่ากับสิ่งประดิษฐ์จากขวดพลาสติก	ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยกว่า สิ่งประดิษฐ์จากขวดพลาสติก

รายการ/คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของใบบันทึกกิจกรรม	ใบบันทึกกิจกรรมมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ง่ายต่อการอ่าน	ใบบันทึกกิจกรรมมีไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย หรือยากต่อการอ่าน	ไม่ส่งใบบันทึกกิจกรรม

2. ชิ้นงานและการนำเสนอ (15 คะแนน)

รายการที่ประเมิน	คะแนน
1. การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	3
2. การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	3
3. การนำความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	3
4. การนำเสนอผลงาน	3
5. วัสดุที่ใช้	3
คะแนนรวม	15

มาตรวัดการประเมินการปฏิบัติ

ที่	รายการที่ประเมิน	ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน	คะแนนเต็ม
1.	การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	1.1 ชิ้นงานที่ออกแบบไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ไม่ครบถ้วน	1	3

ที่	รายการที่ประเมิน	ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน	คะแนนเต็ม
		1.2 ชิ้นงานที่ออกแบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ไม่ครบถ้วน	2	
		1.3 ชิ้นงานที่ออกแบบมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สืบค้นและจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ได้ครบถ้วน	3	
2.	การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	2.1 ไม่มีการอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์	1	3
		2.2 สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้แต่อธิบายไม่มีเหตุผล หรือ ไม่ถูกต้อง	2	
		2.3 สามารถอธิบายแนวคิดหรือเหตุผลในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างมีเหตุผล	3	
3.	ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	3.1 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานน้อยและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้น้อย	1	3
		3.2 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานมากและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้น้อย	2	

ที่	รายการที่ประเมิน	ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน	คะแนนเต็ม
		3.3 นำความคิดสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างผลงานมากและนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้มาก	3	
4.	การนำเสนอผลงาน	4.1 มีการนำเสนอผลงานไม่เป็นขั้นตอนและอธิบายไม่ชัดเจน	1	3
		4.2 มีการนำเสนอผลงานไม่เป็นขั้นตอนแต่อธิบายชัดเจน	2	
		4.3 มีการนำเสนอผลงานเป็นขั้นตอนและอธิบายชัดเจน	3	
5.	วัสดุที่ใช้	5.1 ใช้วัสดุที่ไม่คงทน หาได้ง่าย ราคาถูก	1	3
		5.2 ใช้วัสดุที่คงทนหาได้ยาก ราคาแพง	2	
		5.3 ใช้วัสดุที่คงทนหาได้ง่าย ราคาถูก	3	

เอกสารประกอบการทดลอง

1. ปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. ภารกิจในการแก้ปัญหา

.....
.....
.....
.....

3. จุดประสงค์

.....
.....
.....
.....

4. แนวคิดที่เกี่ยวข้อง

จากการสืบค้นข้อมูลหรือศึกษาเอกสาร

ข้อมูลด้าน	รายละเอียด

วิทยาศาสตร์

คณิตศาสตร์

เทคโนโลยี

จากการทดลอง

การทดลองที่ 1 เรื่อง

.....

- อุปกรณ์และสารเคมี

- วิธีทดลอง

- ผลการทดลอง

- สรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

การทดลองที่ 2 เรื่อง

.....

- อุปกรณ์และสารเคมี

- วิธีทดลอง

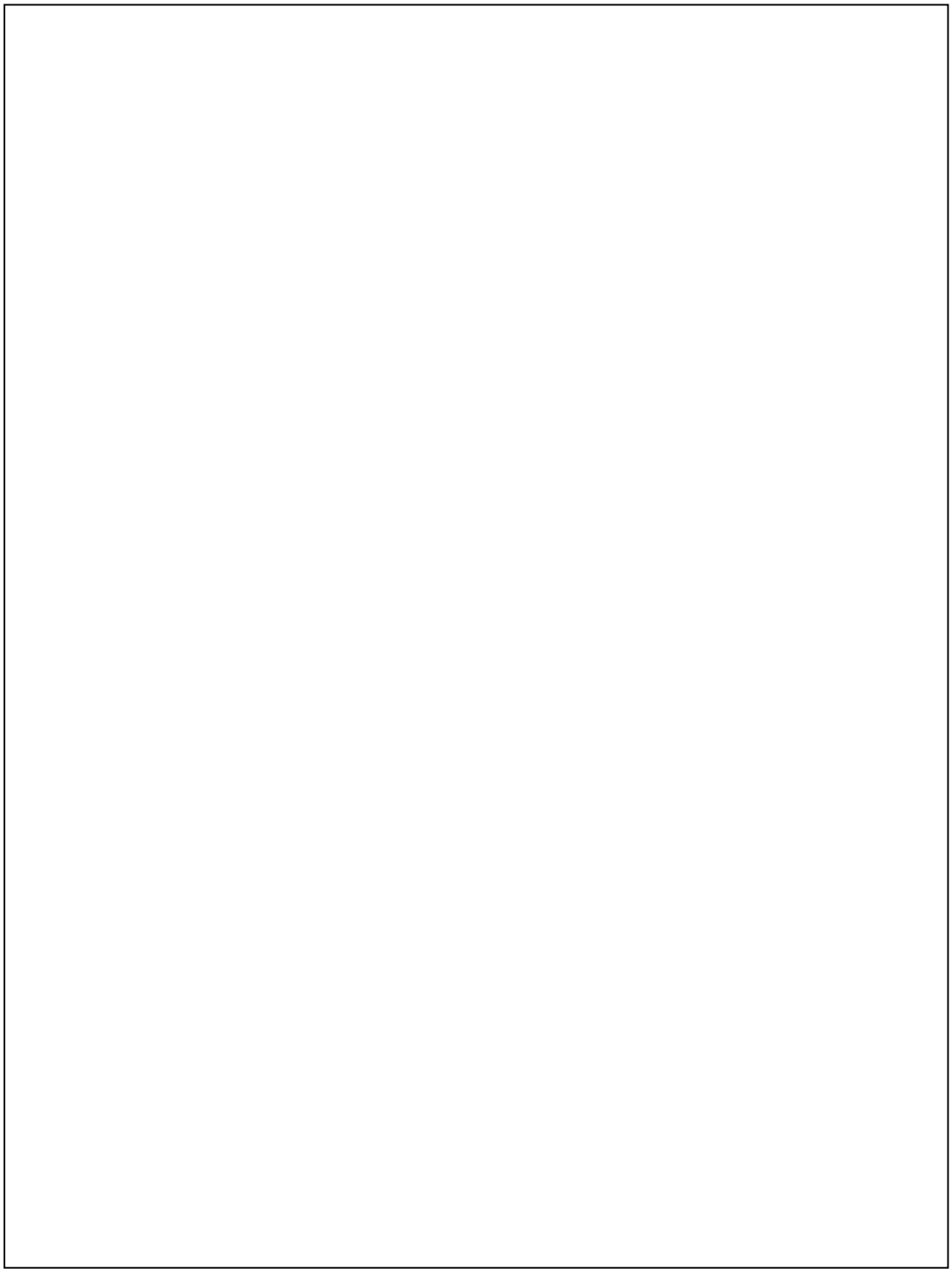
- ผลการทดลอง

- สรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

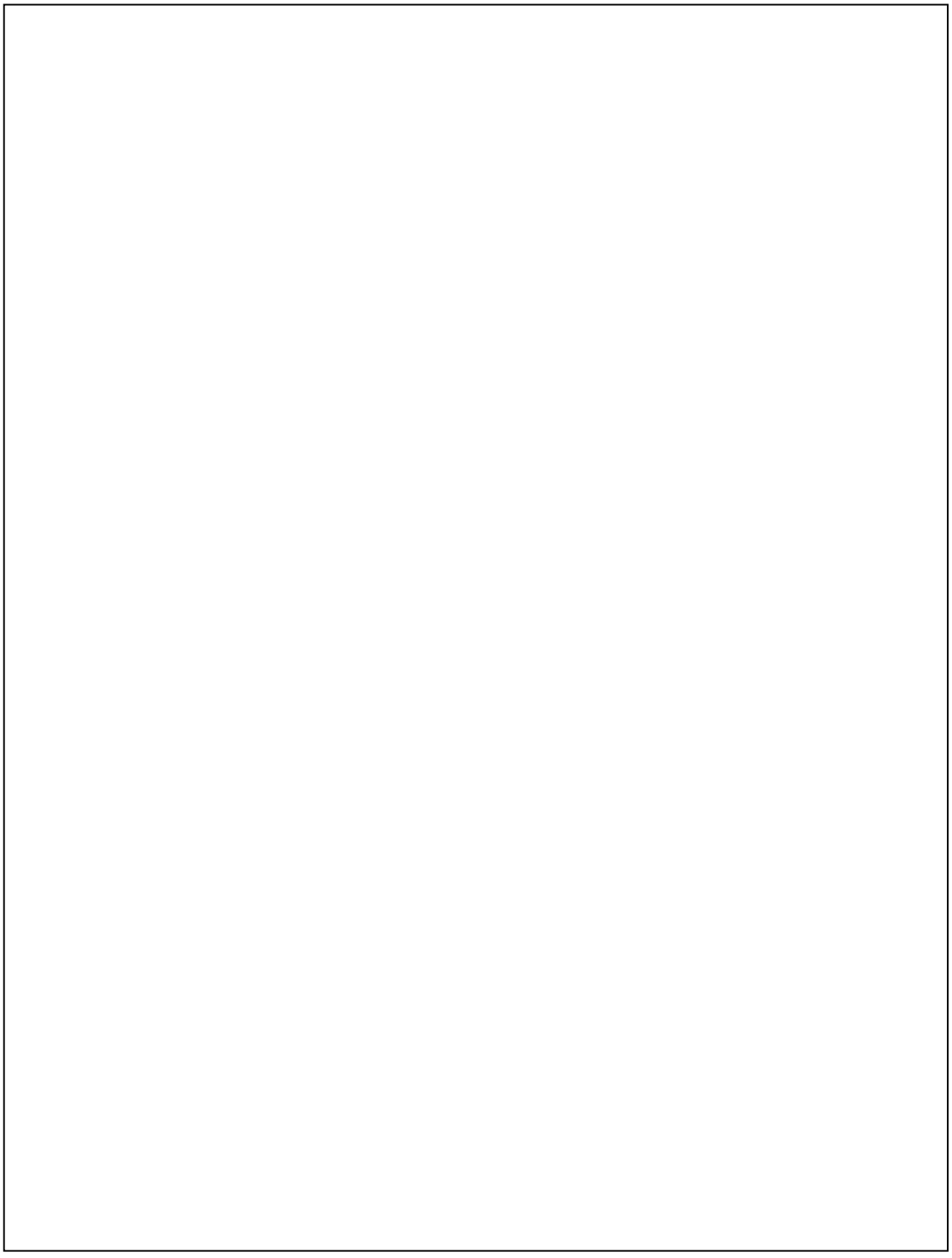
5. การวางแผน สร้าง และทดสอบชิ้นงาน

5.1ภาพร่างแบบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มออกซิเจนในน้ำ พร้อมระบุองค์ประกอบต่าง ๆ ในภาพร่าง



5.2 ตัวอย่างชิ้นงาน

ชื่อสิ่งประดิษฐ์ .....



5.3 ผลการทดสอบ และประเมินผล (อาจนำเสนอในรูปแบบตาราง หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เข้าใจง่าย)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. การนำเสนอสิ่งประดิษฐ์

(ใช้การสัมภาษณ์เพิ่มเติม เช่นแนวคิด กระบวนการปรับปรุงชิ้นงาน การนำเสนอแนวคิด)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

จากสถานการณ์กิจกรรมที่ได้รับมอบหมายคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย

1. กลุ่มของนักเรียนระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ว่าอย่างไร

2. กลุ่มนักเรียนมีวิธีการในการค้นหาแนวคิดหรือความรู้ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

3. กลุ่มของนักเรียนมีการวางแผนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้ในการแก้ปัญหาอย่างไร

4. กลุ่มของนักเรียนมีการทดสอบสิ่งประดิษฐ์ของตนอย่างไร และนักเรียนมีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองหรือไม่ถ้ามีเพราะอะไร

5. นักเรียนมีวิธีการนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ของกลุ่มตนเองอย่างไร

แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน

กิจกรรม “สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย”

(ตัวอย่างการบันทึก ผลการสังเกตกลุ่มที่ XX)

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง “ผลการประเมิน” ตามที่แต่ละกลุ่มได้ปฏิบัติจริงพร้อมระบุหลักฐานเชิงประจักษ์

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
ระบุปัญหา (Identify a challenge)		
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบกิจกรรมพบว่ามีการระบุปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้	✓
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบกิจกรรมพบว่ามีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้	✓
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)		
3.	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตห้องเรียนพบว่านักเรียนได้ศึกษาใบความรู้ที่ 1 ตามกิจกรรม	✓
4.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตห้องเรียนพบว่านักเรียนได้ทำการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามใบกิจกรรม	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
5.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตห้องเรียนพบว่านักเรียนมีการอภิปรายองค์ความรู้และผลการทดลองกับเพื่อนในกลุ่ม	✓
6.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่มหลักฐานเชิงประจักษ์ ไม่พบหลักฐานเชิงประจักษ์	✗
7.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในใบกิจกรรมของนักเรียนพบว่าระดับความสูงและจำนวนระดับชั้นของขวดน้ำที่ปล่อยน้ำไหลลงมาตามที่นักเรียนเลือกสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด และแหล่งน้ำที่นักเรียนเลือกใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้แก่แหล่งน้ำหลังห้องสมุดซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด	✓
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)		
8.	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนได้ทำการร่างแบบชิ้นงาน	✓
9.	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์แบบร่างในใบกิจกรรมพบว่านักเรียนได้ระบุรายละเอียดในแบบร่าง	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
10.	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ชิ้นงานที่นักเรียนนำมาแสดงพบว่าสอดคล้องตามแบบร่าง	✓
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)		
11.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนพบว่าสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้	✓
12.	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนพบว่าในครั้งแรกการทดสอบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้น้อย จึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด	✓
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)		
13.	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ ขณะที่นำเสนอนักเรียนได้สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
14.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ ขณะที่นำเสนอนักเรียนได้อธิบายแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	✓

แบบสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนจากงานที่ได้รับมอบหมาย

เรื่อง "สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก"

(ตัวอย่างการบันทึก ผลการสังเกตกลุ่มที่ XX)

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง "ผลการประเมิน" ตามที่แต่ละกลุ่มได้ปฏิบัติจริงพร้อมระบุหลักฐานเชิงประจักษ์

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
ระบุปัญหา (Identify a challenge)		
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมพบว่ามีการระบุปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้	✓
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมพบว่ามีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้	✓
3.	เขียนหัวข้อของการทดลองหรือภารกิจของตนเองขึ้นมาใหม่เพื่อกำหนดของเขตสิ่งที่ต้องทำโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมพบว่ามีเขียนหัวข้อของการทดลองหรือภารกิจของตนเองขึ้นมาใหม่ โดยอิงจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	✓
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)		
4.	อภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้ที่จำเป็นกับครูหรือที่ปรึกษา <u>เชิงประจักษ์</u> ไม่พบเชิงประจักษ์ (นักเรียนไม่ได้อภิปรายให้ครูหรือที่ปรึกษาเกี่ยวกับ)	X

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
5.	สืบค้นเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการเอกสารประกอบการทำกิจกรรมและการสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียนได้ทำการสืบค้นข้อมูลเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม	✓
6.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมพบว่าได้ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 การทดลอง	✓
7.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตห้องเรียนพบว่านักเรียนมีการอภิปรายองค์ความรู้และผลการทดลองกับเพื่อนในกลุ่ม	✓
8.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่มหลักฐานเชิงประจักษ์ ไม่พบหลักฐานเชิงประจักษ์	✗
9.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมพบว่าได้ทำการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ และแนวคิดที่เลือกเป็นไปตามเงื่อนไขคือไม่ใช้พลาสติก	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)		
10.	ปรึกษาหรือรายงานความคืบหน้าการทำงานกับครูหรือที่ปรึกษาเชิงประจักษ์ ไม่พบเชิงประจักษ์ (นักเรียนไม่ได้อภิปรายให้ครูหรือที่ปรึกษาเกี่ยวกับ)	X
11.	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนได้ทำการร่างแบบชิ้นงาน	✓
12.	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์แบบร่างในใบกิจกรรมพบว่านักเรียนได้ระบุรายละเอียดในแบบร่าง	✓
13.	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ชิ้นงานที่นักเรียนนำมาแสดงพบว่าสอดคล้องตามแบบร่าง	✓
14.	สร้างสิ่งประดิษฐ์โดยใช้เวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์ จากการวิสัมภาษณ์และติดตามงานพบว่านักเรียนสร้างสิ่งประดิษฐ์โดยใช้เวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)		
15.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด คือไม่ใช้พลาสติก จากการนำเสนอของนักเรียนพบว่าสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด	✓
16.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนพบว่าสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้	✓
17.	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนพบว่าในครั้งแรกการทดสอบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้น้อย จึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด	✓
18.	กรณีที่เกิดปัญหา อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานกับที่ปรึกษาหรือครู เชิงประจักษ์ ไม่พบเชิงประจักษ์ (นักเรียนไม่มาพบ)	X
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)		
19.	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ ขณะที่นำเสนอนักเรียนได้สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย	✓

ลำดับ	รายการ	ผลการประเมิน
20.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ ขณะที่นำเสนอนักเรียนได้อธิบายแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	✓

ภาคผนวก ค

แบบประเมินที่ใช้ในการหาคุณภาพของกิจกรรม

แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ)กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการบูรณาการสะเต็มศึกษา

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

ลำดับ	หัวข้อ/เนื้อหา/กระบวนการ	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	0	1
วิทยาศาสตร์ (S)				
1	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)			
2	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า DO			
3	การเพิ่ม DO ในน้ำ			
เทคโนโลยี (T)				
4	การใช้อุปกรณ์ วัด			
5	แนวทางการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ			
6	แนวทางการประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ			
7	สิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ			
คณิตศาสตร์ (M)				
8	อัตราส่วน			
9	การวัด			

หมายเหตุ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแยกพิจารณาเฉพาะใน EDP-1

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด)กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการบูรณาการสะเต็มศึกษา

โดย 1 หมายถึง กิจกรรมสอดคล้องกับตัวชี้วัด
0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
-1 หมายถึง กิจกรรมสอดไม่คล้องกับตัวชี้วัด

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	**0**	**1**
วิทยาศาสตร์ (S)				
1	อธิบายการตรวจวัดค่า DO			
2	สังเกตและอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ			
3	ทดลองและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณ DO ในน้ำเกี่ยวกับ ความสูงและจำนวนชั้นของขวดน้ำ			
4	ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย			
5	อธิบายผลกระทบของน้ำเสียที่มีผลต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น			
6	สำรวจและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบอย่างต่อเนื่อง			
เทคโนโลยี (T)				
7	สร้างสิ่งประดิษฐ์หรือวิธีการ ตามกระบวนการเทคโนโลยี อย่างปลอดภัย ออกแบบโดยถ่ายทอดความคิด เป็นภาพร่าง 3 มิติหรือภาพฉาย เพื่อนำไปสู่ การสร้างต้นแบบของสิ่งประดิษฐ์ หรือ ถ่ายทอดความคิดของวิธีการเป็นแบบจำลองความคิดและ การรายงานผลเพื่อนำเสนอวิธีการ			

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	**0**	**1**
8	ใช้กระบวนการกลุ่มในการทำงานด้วยความเสียสละ ตัดสินใจแก้ปัญหาการทำงานอย่างมีเหตุผล			
9	มีความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง			
10	เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการเทคโนโลยีด้วยการลดใช้ทรัพยากรหรือเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม			
คณิตศาสตร์ (M)				
11	เลือกใช้หน่วยการวัดได้อย่างเหมาะสม			
12	ใช้การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัดในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม			
13	ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม			
14	เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์ และนำความรู้หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ			

<u>หมายเหตุ</u> 1. วิทยาศาสตร์ (S) วิทยาศาสตร์ในที่นี้ได้กำหนดการจัดการเรียนรู้ให้ดำเนินกิจกรรมให้บรรลุถึงมาตรฐาน ว8.1 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช2551ด้วย เนื่องจากเป็นการสอนวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษาเป็นรายวิชาเพิ่มเติม

2. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแยกพิจารณาเฉพาะใน EDP-1

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (EDP)*
จากกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

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	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย			
4	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย			
5	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร			
6	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม			
7	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม			

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	**0**	**1**
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)				
8	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ			
9	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง			
10	สร้างประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ			
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)				
11	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง			
12	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด			
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)				
13	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ			
14	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย			

<u>หมายเหตุ</u> *ลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือ <u>E</u>ngineering <u>D</u>esign <u>P</u>rocess (EDP) อ้างอิงจากเอกสารการประชุม International Technology Education Association. (2005). Invention: the invention crusade (Page 5).

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย
เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

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			
3	เขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่เพื่อกำหนดของเขตสิ่งที่ต้องทำโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด			
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)				
4	อภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้ที่จำเป็นกับครูหรือหรือที่ปรึกษา			
5	สืบค้นเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง			
6	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง			
7	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร			
8	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม			
9	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม			

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ		
		-1	**0**	**1**
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)				
10	ปรึกษาหารือรายงานความคืบหน้าการทำงานกับครูหรือที่ปรึกษา			
11	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ			
12	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง			
13	สร้างประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ			
14	สร้างสิ่งประดิษฐ์โดยใช้เวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์			
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)				
15	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดคือไม่ใช้พลาสติก			
16	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง			
17	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด			
18	กรณีที่เกิดปัญหา อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานกับที่ปรึกษาหรือครู			
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)				
19	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ			
20	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรม			

<u>หมายเหตุ</u> เนื่องจากเป็นการมอบหมายงาน จึงมีบางข้อที่แตกต่างหรือเพิ่มจากกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

ตารางที่ ง-1 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (หัวข้อ) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

ลำดับ	หัวข้อ/เนื้อหา/กระบวนการ	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
วิทยาศาสตร์ (S)								
1	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า DO	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3	การเพิ่ม DO ในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
เทคโนโลยี (T)								
4	การใช้อุปกรณ์ วัด	+1	+1	0	+1	+1	0.8	ใช้ได้
5	แนวทางการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
6	แนวทางการประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
7	สิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
คณิตศาสตร์ (M)								
8	อัตราส่วน	0	0	+1	+1	+1	0.6	ใช้ได้
9	การวัด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-2 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินการบูรณาการสะเต็มศึกษา (ตัวชี้วัด) กิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
วิทยาศาสตร์ (S)								
1	อธิบายการตรวจวัดค่า DO	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2	สังเกตและอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3	ทดลองและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณ DO ในน้ำ เกี่ยวกับ ความสูงและจำนวนชั้นของขวดน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4	ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย	+1	+1	0	+1	0	0.6	ใช้ได้
5	อธิบายผลกระทบของน้ำเสียที่มีผลต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
6	สำรวจและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบอย่างต่อเนื่อง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	ลำดับ
		1	2	3	4	5		
เทคโนโลยี (T)								
7	สร้างสิ่งประดิษฐ์หรือวิธีการ ตามกระบวนการเทคโนโลยี อย่างปลอดภัย ออกแบบโดยถ่ายทอดความคิด เป็นภาพร่าง 3 มิติหรือภาพฉาย เพื่อนำไปสู่ การสร้างต้นแบบของสิ่งประดิษฐ์ หรือถ่ายทอดความคิดของวิธีการเป็นแบบจำลองความคิดและ การรายงานผลเพื่อนำเสนอวิธีการ	+1	+1	0	+1	0	0.6	ใช้ได้
8	ใช้กระบวนการกลุ่มในการทำงานด้วยความเสียสละ ตัดสินใจแก้ปัญหาการทำงานอย่างมีเหตุผล	+1	+1	0	+1	0	0.6	ใช้ได้
9	มีความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
10	เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการเทคโนโลยีด้วยการลดใช้ทรัพยากรหรือเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	0	+1	+1	+1	+1	0.8	ใช้ได้

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
คณิตศาสตร์ (M)								
11	เลือกใช้หน่วยการวัดได้อย่างเหมาะสม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
12	ใช้การคาดคะเนเกี่ยวกับการวัดในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
13	ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
14	เชื่อมโยงความรู้ต่างๆ ในคณิตศาสตร์ และนำความรู้หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ	+1	0	+1	+1	0	0.6	ใช้ได้

ตารางที่ ง-3 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากกิจกรรม สิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
ระบุปัญหา (Identify a challenge)								
1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)								
3	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	+1	+1	0	+1	+1	0.8	ใช้ได้
5	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
6	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
7	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
	วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)							
8	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
9	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
10	สร้างประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
	ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)							
11	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง	0	+1	+1	+1	0	0.6	ใช้ได้

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
12	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด	0	+1	+1	+1	0	0.6	ใช้ได้
	นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)							
13	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
14	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-4 วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่อง สิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
ระบุปัญหา (Identify a challenge)								
1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3	เขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่เพื่อกำหนดของเขตสิ่งที่ต้องทำโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)								
4	อภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้ที่จำเป็นกับครูหรือหรือที่ปรึกษา	+1	-1	+1	+1	+1	0.6	ใช้ได้
5	สืบค้นเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
6	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
7	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
8	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
9	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)								
10	ปรึกษาหารือรายงานความคืบหน้าการทำงานกับครูหรือที่ปรึกษา	+1	-1	+1	+1	+1	0.6	ใช้ได้
11	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
12	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
13	สร้างประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
14	สร้างสิ่งประดิษฐ์โดยใช้เวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์	0	0	+1	+1	0	0.4	ใช้ไม่ได้
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)								
15	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดคือไม่ใช้พลาสติก	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
16	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง	0	+1	+1	+1	0	0.6	ใช้ได้
17	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด	0	+1	+1	+1	0	0.6	ใช้ได้
18	กรณีที่เกิดปัญหา อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานกับที่ปรึกษาหรือครู	+1	0	+1	+1	+1	0.8	ใช้ได้
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)								
19	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ประมาณค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่					ค่า IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5		
20	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองกลุ่มใหญ่

ตารางที่ จ-1 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย (หลักฐานเชิงประจักษ์)

ลำดับ	รายการ
ระบุปัญหา (Identify a challenge)	
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การระบุปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่มีการระบุปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่เขียนระบุปัญหาไม่สอดคล้องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่เขียนระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)	
3.	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตนักเรียนในขั้นตอนของการทำกิจกรรมและสัมภาษณ์เพิ่มเติม พบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีการศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องตามกิจกรรม
4.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตนักเรียนในขั้นตอนของการทำกิจกรรม พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้ทำการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามใบกิจกรรมเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
5.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตนักเรียนในขั้นตอนของการอภิปราย พบว่านักเรียนทุกกลุ่มสามารถนำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลอง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียกับเพื่อนในกลุ่ม
6.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกตนักเรียนในขั้นตอนของการอภิปรายและการสัมภาษณ์ พบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีการนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียอย่างน้อย 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม
7.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนส่วนใหญ่เลือกระดับความสูงและจำนวนระดับชั้นของขวดน้ำที่ปล่อยให้น้ำไหลลงมาตามที่นักเรียนเลือกสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด และแหล่งน้ำที่นักเรียนเลือกใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้แก่แหล่งน้ำหลังห้องสมุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีนักเรียนจำนวน 3 กลุ่มที่เลือกแหล่งน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)	
8.	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้ทำการร่างแบบชิ้นงาน

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
9.	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์แบบร่างในใบบันทึกกิจกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ได้ระบุรายละเอียดในแบบร่าง แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ไม่ระบุรายละเอียดลงในแบบร่าง
10.	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการสังเกต การวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมและชิ้นงานของนักเรียนที่นำมาแสดง พบว่าจำนวนนักเรียนที่สามารถดำเนินการทำสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียตามที่ได้ออกแบบไว้มีจำนวน 5 กลุ่ม ส่วนนักเรียนที่ไม่ได้ดำเนินการทำสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียตามที่ออกแบบไว้มีจำนวน 2 กลุ่ม
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)	
11.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการสังเกต และใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริง
12.	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการนำเสนอของนักเรียน พบว่าจำนวนนักเรียน 4 กลุ่มที่ในครั้งแรกการทดสอบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้น้อยจึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด ส่วนอีก 3 กลุ่มไม่มีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มาก

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)	
13.	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนทั้ง 7 กลุ่มได้สาธิตและอธิบายการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ
14.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน และจากการนำเสนอข้อมูล พบว่านักเรียนทั้ง 7 กลุ่มสามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียได้ครบถ้วน

ตารางที่ จ-2 ผลการสังเกตกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย (จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติได้)

ลำดับ	รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
1. ระบุปัญหา (Identify a challenge)			
1.1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	6	85.71
1.2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	6	85.71
รวมเฉลี่ย		6	85.71
2. ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)			
2.1	ศึกษาใบความรู้เพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	7	100.00
2.2	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	7	100.00
2.3	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร	7	100.00
2.4	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	7	100.00
2.5	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	4	57.14
รวมเฉลี่ย		6.4	91.43
3. วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)			
3.1	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ	7	100.00
3.2	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง	6	85.71
3.3	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ	5	71.43
รวมเฉลี่ย		6	85.71

ตารางที่ จ-2 (ต่อ)

ลำดับ	รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
4. ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)			
4.1	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง	7	100.00
4.2	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด	4	57.14
รวมเฉลี่ย		5.5	78.57
5. นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)			
5.1	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ	7	100.00
5.2	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย	7	100.00
รวมเฉลี่ย		7	100.00

ตารางที่ จ-3 แสดงคะแนนประเมินใบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสีย

ที่	รายการที่ประเมิน	กลุ่มที่							$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5	6	7				
1	การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	2	2	2	2	2	2	1	1.86	0.38	92.86	ดีมาก
2	การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	2	2	2	1	2	2	2	1.86	0.38	92.86	ดีมาก
3	การวางแผนและการออกแบบชิ้นงาน	2	2	2	2	1	2	2	1.86	0.38	92.86	ดีมาก
4	ประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	2	2	1	2	1	2	1	1.57	0.53	78.57	ดี
5	ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของใบบันทึกกิจกรรม	2	2	2	2	2	2	2	2.00	0.00	100.00	ดีมาก
เฉลี่ยรวม		10	10	9	9	8	10	8	1.83	0.33	91.43	ดีมาก

ตารางที่ จ-4 แสดงคะแนนประเมินชิ้นงานและการนำเสนอด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รายกลุ่มจากกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์ฝ่าวิกฤตน้ำเสีย

ที่	รายการที่ประเมิน	กลุ่มที่							$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5	6	7				
1	การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
2	การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
3	ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	2	3	2	2	3	2	3	2.43	0.53	80.95	ดีมาก
4	การนำเสนอผลงาน	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
5	ต้นทุนการผลิตชิ้นงาน	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
คะแนนรวม		14	15	14	14	15	14	15	2.89	0.11	96.19	ดีมาก

ตารางที่ จ-5 ผลการประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก (หลักฐานเชิงประจักษ์)

ลำดับ	รายการ
ระบุปัญหา (Identify a challenge)	
1.	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การระบุปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทั้ง 7 กลุ่มมีการระบุปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้
2.	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าส่วนใหญ่มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาสอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่เขียนระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาไม่สอดคล้องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
3.	เขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่เพื่อกำหนดของเขตสิ่งที่ต้องทำโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์เอกสารประกอบการทำกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทั้ง 7 กลุ่มมีการเขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่ โดยอิงจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)	
4.	อภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้ที่จำเป็นกับครูหรือหรือที่ปรึกษา หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมและการสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้อภิปรายองค์ความรู้ที่จำเป็นในการนำมาใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้
5.	สืบค้นเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง หลักฐานเชิงประจักษ์

ตารางที่ จ-5 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
	จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมและการสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้ทำการสืบค้นข้อมูลเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรม
6.	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียน 6 กลุ่มได้ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 การทดลอง แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ทำการทดลองหาปริมาณของค่า DO ก่อนและหลังการทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ
7.	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้อภิปรายองค์ความรู้และผลการทดลองกับเพื่อนในกลุ่ม
8.	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการสัมภาษณ์ พบว่านักเรียน 6 กลุ่มมีการนำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกอย่างน้อย 2 วิธีและเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม แต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ไม่ร่วมแสดงความคิดเห็นหรืออภิปราย
9.	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม <u>หลักฐานเชิงประจักษ์</u> จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมและการสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียน 6 กลุ่มได้ทำการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ และแนวคิดที่เลือกเป็นไปตามเงื่อนไขคือไม่ใช้พลาสติกแต่มีนักเรียนจำนวน 1 กลุ่มที่ไม่ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ แต่นักเรียนได้ออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์ เป็นไปตามเงื่อนไขคือไม่ใช้พลาสติก

ตารางที่ จ-5 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)	
10.	ปรึกษาหรือรายงานความคืบหน้าการทำงานกับครูหรือที่ปรึกษา หลักฐานเชิงประจักษ์ ในระหว่างการทำกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียน 5 กลุ่มได้มาปรึกษาและรายงานความคืบหน้าการสร้างสิ่งประดิษฐ์กับครู ส่วนอีก 2 กลุ่มไม่มาพบครู
11.	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้ทำการร่างแบบชิ้นงาน
12.	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์แบบร่างในใบบันทึกกิจกรรม พบว่านักเรียนทุกกลุ่มได้ระบุรายละเอียดในแบบร่าง
13.	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์ในใบบันทึกกิจกรรมและชิ้นงานของนักเรียนที่นำมาแสดง พบว่านักเรียนทุกกลุ่มที่สามารถดำเนินการทำสิ่งประดิษฐ์ฝาวิกฤตน้ำเสียตามที่ได้ออกแบบไว้
ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)	
14.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด คือไม่ใช้พลาสติก หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มสร้างสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด
15.	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการสังเกต และใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน พบว่าจำนวนนักเรียนทั้ง 7 กลุ่มสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้จริง

ตารางที่ จ-5 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ
16.	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียน พบว่าจำนวนนักเรียน 6 กลุ่มทำการทดสอบสิ่งประดิษฐ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้น้อยจึงทำการปรับปรุงใหม่จนสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด ส่วนอีก 1 กลุ่มไม่มีการปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้มาก
17.	กรณีที่เกิดปัญหา อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานกับที่ปรึกษาหรือครู หลักฐานเชิงประจักษ์ ในระหว่างการทำกิจกรรมของนักเรียน พบว่านักเรียน 5 กลุ่มได้มาปรึกษาปัญหาการสร้างสิ่งประดิษฐ์เช่น การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ การออกแบบสิ่งประดิษฐ์ การทดสอบสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นกับครู ส่วนอีก 2 กลุ่มไม่มาพบครู
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)	
18.	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการนำเสนอของนักเรียนทั้ง 7 กลุ่มได้สาธิตและอธิบายการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ
19.	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก หลักฐานเชิงประจักษ์ จากการวิเคราะห์การนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกในใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน และจากการนำเสนอข้อมูล พบว่านักเรียนทั้ง 7 กลุ่มสามารถนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติกได้ครบถ้วน

ตารางที่ จ-6 ผลการประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย กิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก (จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติได้)

ลำดับ	รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
1. ระบุปัญหา (Identify a challenge)			
1.1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	7	100.00
1.2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	6	85.71
1.3	เขียนหัวข้อของการทดลองหรือภาระกิจของตนเองขึ้นมาใหม่เพื่อกำหนดของเขตสิ่งที่ต้องทำโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	7	100.00
รวมเฉลี่ย		6.67	**95.24**
2. ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)			
2.1	อภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้ที่จำเป็นกับครูหรือที่ปรึกษา	7	100
2.2	สืบค้นเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	7	100.00
2.3	ทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	6	85.71
2.4	นำเสนอหรืออภิปรายข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างไร	7	100.00
2.5	นำเสนอหรืออภิปรายวิธีการเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 2 แนวคิด และเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	6	85.71
2.6	แนวคิดที่เลือกสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินการทำกิจกรรม	6	85.71
รวมเฉลี่ย		6.5	92.86

ตารางที่ จ-6 (ต่อ)

ลำดับ	รายการพฤติกรรม	จำนวนกลุ่มที่ปฏิบัติ	ร้อยละ
3. วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)			
3.1	ปรึกษาหรือรายงานความคืบหน้าการทำงานกับครูหรือที่ปรึกษา	5	71.43
3.2	ร่างแบบสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ	7	100.00
3.3	ระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ลงในแบบร่าง	7	100.00
3.4	สร้างสิ่งประดิษฐ์ตามที่ได้ออกแบบ	7	100.00
รวมเฉลี่ย		6.5	**92.86**
4. ทดสอบและประเมินผล (Test and evaluation)			
4.1	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด คือไม่ใช้พลาสติก	7	100.00
4.2	สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้จริง	7	100.00
4.3	ในกรณีที่สิ่งประดิษฐ์ไม่สามารถทำให้ค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้หรือเพิ่มขึ้นได้น้อย มีการแก้ไขปรับปรุงจนค่า DO ในน้ำเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด	6	85.71
4.4	กรณีที่เกิดปัญหา อภิปรายปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานกับที่ปรึกษาหรือครู	5	71.43
รวมเฉลี่ย		6.25	**89.29**
5. นำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)			
5.1	สาธิตการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ	7	100.00
5.2	นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำกิจกรรมสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก	7	100.00
รวมเฉลี่ย		7	100.00

ตารางที่ จ-7 แสดงคะแนนประเมินใบบันทึกกิจกรรมด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

ที่	รายการที่ประเมิน	กลุ่มที่							$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5	6	7				
1	การระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์	1	2	2	2	2	2	2	1.86	0.38	92.86	ดีมาก
2	การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	1	2	2	2	2	2	2	1.86	0.38	92.86	ดีมาก
3	การวางแผนและการออกแบบชิ้นงาน	2	2	2	2	2	2	2	2.00	0.00	100.00	ดีมาก
4	ประสิทธิภาพของชิ้นงานในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	2	2	2	2	2	1	1	1.71	0.49	85.71	ดีมาก
5	ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของใบบันทึกกิจกรรม	2	2	2	2	2	2	2	2.00	0.00	100.00	ดีมาก
เฉลี่ยรวม		8	10	10	10	10	9	9	2.06	0.26	94.29	ดีมาก

ตารางที่ จ-8 แสดงคะแนนประเมินชิ้นงานและการนำเสนอด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมจากงานที่ได้รับมอบหมาย เรื่องสิ่งประดิษฐ์เพิ่ม DO แบบใหม่ไม่ใช้พลาสติก

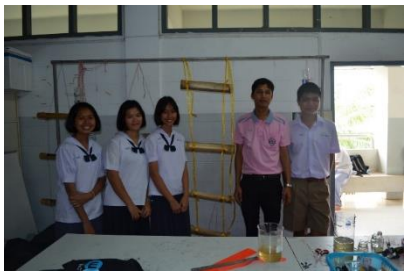
ที่	รายการที่ประเมิน	กลุ่มที่							$\overline{X}$	S.D.	ร้อยละ	ผลการประเมิน
		1	2	3	4	5	6	7				
1	การนำเสนอการออกแบบชิ้นงานโดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในการสร้างชิ้นงาน	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
2	การอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
3	ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ในชีวิตจริง	3	3	3	3	3	3	2	2.86	0.38	95.24	ดีมาก
4	การนำเสนอผลงาน	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
5	วัสดุที่ใช้	3	3	3	3	3	3	3	3.00	0.00	100.00	ดีมาก
คะแนนรวม									2.97	0.08	99.05	ดีมาก

ภาคผนวก ฉ

ภาพการดำเนินกิจกรรม

ภาพการจัดค่ายวิทยาศาสตร์

เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา



ภาคผนวก ช

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำการวิจัย

หนังสือตอบรับการนำเสนอผลการวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. คุณน้ำทิพย์ จรรยาธรรม สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. ผศ.ดร.ศักดิ์ศรี สุภาษร อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. ดร. อภิญญา นวคุณ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
5. นางสุวรรณี พรหมประสิทธิ์ ครูเชี่ยวชาญ โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์

บันทึกข้อความ

โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
เลขที่รับ ๒๘๑
วันที่ ๒๖ ก.พ. ๕๙
เวลา ๑๐ ๓๔ น.

ส่วนราชการ โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์

ที่ วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2559

เรื่อง ขออนุญาตดำเนินการวิจัยภายในโรงเรียน

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์

ด้วยข้าพเจ้า นายมนัส ชวดดา ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ อยู่ระหว่างการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และอยู่ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา" โดยมี ดร.ศิริรัตน์ ขาญไวทย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และดร.สนธิ พลชัยยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ทั้งนี้ข้าพเจ้าจึงเรียนมาเพื่อขอนุญาตดำเนินการวิจัยในโรงเรียนกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3/9 -3/12 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คนในการจัดค่ายเกี่ยวกับวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วันที่ 2 มีนาคม 2559 ณ ห้องโสตทัศนศึกษา ตั้งแต่เวลา 08.00 – 16.00 น.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ลงชื่อ.....
(นายมนัส ชวดดา)
ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

- ครูมนัส ชวดดา
ขออนุญาตดำเนินการวิจัยในโรงเรียน
เห็นสมควรอนุญาต
(นางนุชนาฏ ชิตสาระ)
หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
-- เห็นควรอนุญาตให้ดำเนินการได้
ตามเสนอ/ปรากฏว่าเป็นประโยชน์ในการ
ใช้ศึกษาต่อไป
25 กพ 59

- เห็นควรอนุญาต ปกาศ/
แนะนำ ขอดูเครื่องมือก่อน
26 กพ 59.

ที่ ศธ 04272.005/173

โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ 60140

26 กุมภาพันธ์ 2559

เรื่อง ขออนุญาตให้นักเรียนมาโรงเรียนเพื่อเข้าร่วมกิจกรรม

เรียน ผู้ปกครองนักเรียน.....

ด้วย โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ มีความประสงค์จะขออนุญาตให้นักเรียน (ชื่อนักเรียน)..... มาโรงเรียนในวันหยุด ในการมาโรงเรียนครั้งนี้ มีนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3/9 - 3/12 จำนวน 50 คน มีครูผู้ควบคุม 1 คน โดยมี นายมนัส ชวดดา เป็นผู้ควบคุม เพื่อเข้าร่วมกิจกรรมค่ายวิชาสิ่งแวดล้อม ณ หอประชุม โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ในวันพุธที่ 2 มีนาคม 2559 ตั้งแต่เวลา 08.00 – 16.00 น. และไม่พักค้างคืน โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น

จึงเรียนมาเพื่อขออนุญาตให้นักเรียนมาโรงเรียนเพื่อเข้าร่วมกิจกรรมในครั้งนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายกมล วงศ์สุทธิ์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์

กลุ่มบริหารวิชาการ.
โทร.0-5626-2370 โทรสาร. 0-5626-1158
ครูผู้ควบคุม นายมนัส ชวดดา 086-119-3598

โปรดกรอกแบบข้างล่างนี้แล้วส่งกลับสถานศึกษา

ข้าพเจ้า.....ผู้ปกครองของ.....

☐ อนุญาต ☐ ไม่อนุญาต ให้นักเรียนมาโรงเรียนเพื่อร่วมกิจกรรมค่ายวิชาสิ่งแวดล้อม ในครั้งนี้

(โรคประจำตัวของนักเรียน.....ยาที่นักเรียนแพ้.....)

ลงชื่อ.....ผู้ปกครอง
โทรศัพท์.....

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เรื่อง การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา

วันให้คำยินยอม วันที่ .....25.....เดือน.....กุมภาพันธ์.....พ.ศ. .....2559....
ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยชื่อ นายมนัส ชวดดา ถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อข้าพเจ้า

ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับและจะเปิดเผยในภาพรวมที่เป็นการสรุปผลการวิจัย

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/ผู้แทนโดยชอบด้วยกฎหมาย

(.....)

ลงนาม.....พยาน

(.....)

ลงนาม.....ผู้ทำวิจัย

(.....)

ที่ ศธ 0522.14(04)/ ๑๑๔๑

สำนักบัณฑิตศึกษา
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

10 ตุลาคม 2559

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มสธ. ครั้งที่ 6

เรียน นายมนัส ชวดดา

ตามที่ท่านได้สมัครเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มสธ. ครั้งที่ 6 ในวันที่ 25 พฤศจิกายน 2559 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช โดยส่งผลงาน **เรื่อง การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา** นั้น คณะกรรมการจัดการประชุมฯ ได้พิจารณาบทความของท่านเรียบร้อยแล้ว ขอแจ้งผลการพิจารณา ดังนี้

*ผลงานของท่าน ได้รับการตอบรับให้นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบ**บรรยาย** (Oral Presentation) หมายเลขบทความของท่านคือ O-SS 046 กรุณาอ้างอิงหมายเลขบทความทุกครั้งที่ติดต่อกับคณะกรรมการฯ* และโปรดดำเนินการดังนี้

1. ปรับแก้บทความตามข้อเสนอแนะของคณะกรรมการฯ ตามที่ปรากฏในเอกสารที่แนบมานี้ และส่งกลับมายังคณะกรรมการฯ ภายในวันที่ 12 ตุลาคม 2559 ทาง e-mail: grad.amnuauy@gmail.com เพื่อคณะกรรมการจะได้ดำเนินการนำบทความของท่านลงในรายงานการประชุม (proceedings) ต่อไป

2. ส่งแบบตอบรับการนำเสนอผลงานเพื่อยืนยันการเข้าร่วมเสนอผลงานภายในวันที่ 12 ตุลาคม 2559 เพื่อคณะกรรมการจะได้ดำเนินการจัดตารางการนำเสนอ

ทั้งนี้ท่านสามารถตรวจสอบกำหนดการประชุมได้ที่ http://grad-research.stou.ac.th และหากท่านต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อที่ นางสาวอำนวย ก้อนบุญไสย์ โทร 0 2504 7568-9

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลภา สบายยิ่ง)
ผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา

หมายเหตุ คำอธิบายสำหรับผู้นำเสนอแบบบรรยาย (Oral Presentation)

1. ให้ผู้นำเสนอจัดเตรียม File โดยใช้ Power Point เท่านั้น Save File **ด้วย ชื่อและนามสกุล (ภาษาไทย)** ของผู้นำเสนอ เช่น บทความของ นายสมชาย บุญมาก ให้ใช้ชื่อไฟล์ **"สมชาย บุญมาก"** และส่ง File ให้เจ้าหน้าที่ภายในวันที่ 20 ตุลาคม 2559 ทาง e-mail: grad.amnuay@gmail.com
2. ในวันนำเสนอขอให้ผู้นำเสนอลงนามที่โต๊ะลงทะเบียนฝ่ายวิชาการเพื่อยืนยันการนำเสนอ และสามารถตรวจสอบวันและเวลาที่นำเสนอผลงานได้ทาง http://grad-research.stou.ac.th
3. การนำเสนอแต่ละเรื่องใช้เวลา 15 นาที แบ่งเป็นการนำเสนอ 12 นาที และซักถาม 3 นาที
4. อุปกรณ์เครื่องใช้ที่ผู้จัดการประชุมเตรียมไว้ในห้องนำเสนอ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม Power Point และ LCD