

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนามาตรปฏิบัติ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ปริญญานิพนธ์

ของ

วรวัดน์ ทิพจ้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

กันยายน 2551

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนานาบทปฏิบัติการ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ปริญญานิพนธ์

ของ

วรวัดน์ ทิพจ้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

กันยายน 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

บทคัดย่อ
ของ
วรวัฒน์ ทิพจ้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา
กันยายน 2551

วรวัฒน์ ทิพจ้อย. (2551). การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนามาตรปฏิบัติกร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ปรินญาณพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร. สนอง ทองปาน, อาจารย์สมปอง ใจดีเฉย.

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมาย 3 ประการ คือ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอย 2) เพื่อพัฒนามาตรปฏิบัติกร เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และ 3) เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการใช้บทปฏิบัติกร เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ได้แกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียใช้สถานที่โรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเป็นสถานที่ทำการศึกษาโดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียตามค่าพารามิเตอร์ คือ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ของกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ยตามค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี น้ำมันและไขมัน และของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 7.34, 330.04 มก./ลิตร 575.00 มก./ลิตร, 18.46 มก./ลิตร, และ 97.09 มก./ลิตร ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าน้ำมันและไขมัน เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และค่าของแข็งแขวนลอย ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

การทดลองสอนใช้บทปฏิบัติกรกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก กรุงเทพมหานคร จำนวน 40 คน เป็นกลุ่มตัวอย่าง ใช้บทปฏิบัติกร 5 บท คือ 1) การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น 2) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ 3) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี 4) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ และ 5) การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ผลการวิจัยพบว่า บทปฏิบัติกร เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมากและมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ผลการทดลองใช้บทปฏิบัติกรด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 83.88 มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

STUDY ON EFFICIENCY OF ANAEROBIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM FOR
CONSECUTIVE DEVELOPMENT OF CORRESPONDENT LABORATORY DIRECTIONS
FOR MATHAYOMSUKSA II STUDENTS

AN ABSTRACT
BY
WORRAWAT TIPJOY

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education degree in Secondary Education
at Srinakharinwirot University
September 2008

Worrawat Tipjoy. (2008). *A Study on Efficiency of Anaerobic Wastewater Treatment System for Consecutive Development of Correspondent Laboratory Directions for Mathayomsuksa II Students*. Master thesis, M.Ed. (Secondary Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University.
Advisor Committee: Dr. Sanong Thongpan, Lecturer Sompong Jaideechoey

The purposes of this research were:

- 1) to efficiency of Srinakharinwirot University's anaerobic wastewater treatment system to reduce the organic substances from the solution and suspension.
- 2) to develop laboratory direction on "Wastewater Treatment" to have high quality and efficiency index of 80/80.
- 3) to try out the laboratory direction on the following outcome; students' achievement, and students' science process skills.

To study the wastewater treatment system efficiency, using wastewater treatment factory in Srinakharinwirot University, by analyzing pH, BOD, COD, Oil and Grease, Suspended Solids from wastewater compared to the standardization of polluted water from buildings, under the Ministry of Science and Technology (1994)

The results from the research, it appeared that the average parameter of pH, BOD, COD, Oil and Grease, Suspended Solids equal 7.34, 330.04 mg/l, 575.00 mg/l, 18.46 mg/l, and 97.09 mg/l respectively. The pH and Oil and Grease were standardized as BOD, COD, and Suspended Solids were not.

Sample of the study comprised 40 Mathayomsuksa II students in the 2008 first semester from Saint Dominic School. The laboratory direction on "Wastewater Treatment" covered 5 topics; 1) Basic qualitative analysis of water quality 2) Physical of wastewater treatment 3) Chemical of wastewater treatment 4) Biological of wastewater treatment and 5) Development of water quality.

The results revealed that the development of laboratory direction were high quality and attained the efficiency of index 80.26/80.71. The students' average post-test scores on achievement was higher than the pre-test. The students' scores on science process skills was at 83.88 higher than standard of 70 percent.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนานาบบปฏิบัติการ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ของ
วรวัฒน์ ทิพย์ชัย

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. สนั่น ทองปาน)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรยุทธ พงษ์ เจริญพิทย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สมปอง ใจดีเฉย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สนั่น ทองปาน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สมปอง ใจดีเฉย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ประยูร วงศ์จันทร์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเป็นผลเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร. สอน ทองปาน ประธานคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์สมปอง ใจดีเยย กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่อุทิศเวลาอันมีค่ากรุณาให้คำแนะนำแนวทางในการทำวิจัยตลอดจน แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ และอาจารย์ ดร. ประยูร วงศ์จันทร์ตา คณะกรรมการแต่งตั้งเพิ่มเติมในการสอบปากเปล่าที่อุทิศเวลาอันมีค่ากรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมทำให้ปริญญานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นิภา ศรีไพโรจน์ รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จันทร์ไพแสง อาจารย์ ดร. สุนันทา มั่นสมงคล อาจารย์พิพัฒน์ เกิดปราโมทย์ และอาจารย์เวธกา หนูเพชร ที่กรุณา เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจและแก้ไขเครื่องมือในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสมชัย นาวงษ์ เจ้าหน้าที่ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำตัวอย่าง และการใช้สถานที่ มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการสถานศึกษา เพื่อนครู และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาให้ความสะดวก และให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ น้อง และเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้เมตตา อบรม สั่งสอน ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

วรวัฒน์ ทิพจ้อย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
สมมติฐานของการวิจัย.....	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย.....	11
ความหมายของน้ำเสีย.....	11
ประเภทของน้ำเสีย.....	11
ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสีย.....	12
การบำบัดน้ำเสีย.....	13
ประเภทของการบำบัดน้ำเสีย.....	13
ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย.....	14
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	15
การใช้ตะแกรง.....	15
การตกตะกอน.....	15
การกำจัดตะกอนหนัก.....	16
การกำจัดน้ำมันและไขมัน.....	16
การตกตะกอน.....	16
การทำให้ตะกอนลอย.....	16
การกรอง.....	17
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี.....	17
การตกผลึกทางเคมี.....	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
การสร้างตะกอนรวมทางเคมี.....	17
การปรับค่า pH.....	18
การฆ่าเชื้อโรค.....	18
การไล้ก๊าซ.....	18
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ.....	19
การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน.....	19
ระบบบำบัดแบบบ่อฝุ้ง.....	19
ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ.....	20
ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน.....	20
การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	21
ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจน.....	21
ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ.....	21
ระบบบำบัดแบบถังหมักธรรมดา.....	21
ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสัมผัส.....	22
ระบบบำบัดแบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน.....	22
ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดเบด.....	22
ระบบบำบัดแบบอัพโฟลแอนแอโรบิกสลัดจ์เบลนด์เกท.....	23
ระบบบำบัดแบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน.....	23
ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.....	23
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	24
ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์.....	24
สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบ.....	25
ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	26
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวกลางในการบำบัดน้ำเสีย.....	27
ลักษณะทั่วไปของตัวกลาง.....	27
ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลาง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	29
นิยาม และความหมาย.....	29
เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ.....	29
ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ.....	29
วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ.....	30
ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	30
ประเภทของตัวอย่างน้ำ.....	31
ช่วงระยะเวลาระหว่างการเก็บวิเคราะห์.....	32
วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษา.....	32
ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	32
การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ.....	33
การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ.....	34
วิธีส่งตัวอย่างน้ำ.....	35
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ตรวจวัด.....	35
ความเป็นกรด-ด่าง.....	35
บีโอดี.....	35
ซีโอดี.....	36
น้ำมันและไขมัน.....	37
ของแข็งแขวนลอย.....	37
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรสถานศึกษา.....	38
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน.....	39
ประโยชน์ของนวัตกรรมการเรียนการสอน.....	39
กระบวนการพัฒนาการนวัตกรรมการเรียนการสอน.....	39
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ.....	40
ข้อคำนึงในการเขียนบทปฏิบัติการ.....	41
องค์ประกอบของบทปฏิบัติการ.....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
รูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการ.....	45
ขั้นตอนในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ.....	45
บทบาทของครูในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ.....	46
ประโยชน์ของการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ.....	47
ทฤษฎีทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ.....	47
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	49
แนวทางในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	50
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	50
ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	51
ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	51
แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	52
การสร้างแบบทดสอบเลือกตอบ.....	53
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	54
ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	54
ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	54
การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	58
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ในการสร้างเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้.....	59
ความตรง.....	59
ความเชื่อมั่น.....	59
ความเป็นปรนัย.....	61
ความยากง่าย.....	61
อำนาจจำแนก.....	62
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	63
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลาง พลาสติกเหลือใช้.....	63
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ.....	65

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน.....	66
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน.....	67
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	69
ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	69
รูปแบบการวิจัย.....	69
สถานที่ทำการวิจัย.....	69
ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	69
ตัวอย่างน้ำและการเก็บตัวอย่าง.....	69
ตัวแปรที่ศึกษา.....	70
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	70
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	71
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	72
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	73
ตอนที่ 2 การพัฒนาระบบปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	74
ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน.....	76
กำหนดประชากร.....	76
เลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	76
การสร้างเครื่องมือวัดผล.....	76
กำหนดแบบแผนการทดลอง.....	78
การดำเนินการทดลอง.....	79
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	79
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	80
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	80
การพัฒนาระบบปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	92

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน.....	95
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	97
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	97
สมมติฐานของการวิจัย.....	97
วิธีดำเนินการวิจัย.....	98
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	99
สรุปผลการวิจัย.....	100
อภิปรายผล.....	102
ข้อเสนอแนะ.....	117
ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลาง	
พลาสติกเหลือใช้.....	117
ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน.....	117
บรรณานุกรม.....	119
ภาคผนวก.....	129
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	357

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์.....	73
2 แสดงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537.....	73
3 แสดงแบบแผนการทดลองจำแนกตามตัวแปรตาม.....	78
4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติก เหลือใช้.....	81
5 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้.....	83
6 แสดงค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้.....	85
7 แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบ บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้.....	87
8 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบ บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้.....	89
9 แสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวด พลาสติกเหลือใช้โดยภาพรวม.....	91
10 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน.....	92
11 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละของคะแนนจากคำถามท้าย บทปฏิบัติการ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังใช้บทปฏิบัติการ.....	94
12 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อน และหลังใช้บทปฏิบัติการ	95
13 แสดงคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังใช้บทปฏิบัติการ	96

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
14 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้.....	131
15 แสดงการแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน.....	162
16 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ.....	178
17 แสดงแนวคำตอบแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	296
18 แสดงแนวคำตอบแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	298
19 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น.....	302
20 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ..	305
21 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี.....	308
22 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ....	311
23 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 5 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	314
24 แสดงการประเมินความสอดคล้อง (IOC) จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ กับความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับกิจกรรมของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	317
25 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม.....	320
26 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์.....	323

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
27 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก.....	326
28 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม...	329
29 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์.....	332
30 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความเหมาะสมของตัวเลือก.....	335
31 แสดงคะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการที่ 1-5 ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง.....	339
32 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	341
33 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย.....	344
34 แสดงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนของ นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง.....	347
35 แสดงคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนของ นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง.....	348

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
2 แสดงน้ำเสีย.....	164
3 แสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโดยใช้ กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์.....	166
4 แสดงวิธีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์.....	166
5 แสดงน้ำตัวอย่าง 10 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำประปา น้ำล้างจาน น้ำส้มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำสบู่ น้ำคลองแสนแสบ น้ำตู้เลี้ยงปลา และน้ำซักผ้า.....	170
6 แสดงตะกอนตกตะกอน.....	176
7 แสดงถังตกตะกอน.....	177
8 แสดงถังตกไขมันและน้ำมัน.....	177
9 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	179
10 แสดงถังตกตะกอน.....	183
11 แสดงน้ำตัวอย่างที่มีสภาพเป็นกรด ได้แก่ น้ำมะขามเปียก น้ำมะนาว น้ำมะกรูด และน้ำส้มสายชู.....	186
12 แสดงน้ำตัวอย่างที่มีสภาพเป็นเบส ได้แก่ น้ำปูนแดง น้ำขี้เถ้า น้ำสบู่ น้ำปูนขาว.....	187
13 แสดงการทำงานของระบบเลี้ยงตะกอนหรือเร่งตะกอน.....	193
14 แสดงการทำงานของระบบบ่อบำบัด.....	194
15 แสดงระบบบำบัดแบบบ่อบำบัด.....	194
16 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานหมุนชีวภาพ.....	195
17 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบจานหมุนชีวภาพ.....	195
18 แสดงระบบบำบัดแบบบ่อบำบัด.....	196
19 แสดงการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	199
20 แสดงการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน.....	199
21 แสดงสิ่งปฏิกูลจากกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด “น้ำเสีย”.....	207

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
22 แสดงแหล่งน้ำดิบเพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ปราศจากสิ่งปนเปื้อน.....	207
23 แสดงน้ำเสียที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ.....	208
24 แสดงสารละลายหมายเลข 1 และสารละลายหมายเลข 2.....	211
25 แสดงการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์.....	218
26 แสดงการใช้เทอร์โมมิเตอร์.....	218
27 แสดงการอ่านค่าบนกระบอกตวง.....	219
28 แสดงค่า pH ของน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง.....	220
29 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง.....	221
30 แสดงตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	350
31 แสดงการบรรจุตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ลงในตาข่ายไนลอน.....	350
32 แสดงการนำตัวกลางออกจากถังหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	351
33 แสดงตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	351
34 แสดงการยัดเกาะของจุลินทรีย์บริเวณพื้นที่ผิวของตัวกลาง.....	352
35 แสดงตะกอนภายในระบบบำบัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย.....	352
36 แสดงการสาธิตวิธีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง.....	353
37 แสดงการวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างโดยนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง.....	353
38 แสดงวิธีการดมกลิ่นตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์.....	354
39 แสดงวิธีการร่อนน้ำตัวอย่างด้วยกระชอน.....	354
40 แสดงวิธีการร่อนน้ำตัวอย่างด้วยผ้าขาวบาง.....	355
41 แสดงการนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียนของนักเรียนตัวแทนกลุ่ม.....	355

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อกระบวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตน้ำครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2 ใน 3 ของผิวโลก และเป็นองค์ประกอบของร่างกายมนุษย์มากกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักตัว มนุษย์ใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค การประมง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และการพักผ่อนหย่อนใจ (เอ็มอัชมา วัฒนบุรานนท์. 2547: 19) ในอดีตแหล่งน้ำไม่เน่าเสียหรือเกิดภาวะมลพิษเพราะธรรมชาติสามารถปรับความสมดุล และฟื้นฟูตัวเองได้ทำให้เกิดการหมุนเวียน แม้จะมีการปนเปื้อนจากสารหรือมลสารแต่ก็มีปริมาณไม่มากนักจึงสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม แต่เมื่อมีการเจริญเติบโตของสังคมจนเกิดชุมชนมีการพัฒนาในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และพาณิชยกรรม ทำให้ธรรมชาติไม่สามารถฟื้นฟูตัวเองได้ทันปัญหาน้ำเสียในแหล่งน้ำจึงเกิดขึ้นจนทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ (อินทัย อุเทนสุต. 2538: 5) รวมทั้งสุขภาพอนามัย และคุณค่าชีวิตของประชาชนโดยรวมตลอดจนการพัฒนาประเทศชาติ

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาน้ำเสีย คือการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดสารปนเปื้อนที่เจือปนให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายสู่แหล่งน้ำ ปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ซึ่งวิธีการทางชีวภาพนั้นนับว่าเป็นวิธีที่ยอมรับมากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียในรูปสารละลาย และอนุภาคแขวนลอยโดยใช้จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียไปย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน (ชาติชาย ชายตระกูล. 2548: 2)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นเหมาะสำหรับใช้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ทำให้ไม่มีกลิ่นที่รบกวน ระบอบที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพสูงจึงไม่ต้องการหมุนเวียนตะกอน ผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซนี้จะแยกออกจากระบบอย่างรวดเร็วเพราะความสามารถในการละลายน้ำต่ำจึงทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีความคงตัว (เพชรพร เชาวกิจเจริญ. 2538: 274-282)

ตัวกลางพลาสติก (Plastic media) ทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่สำหรับยึดเกาะสำหรับแบคทีเรียทำให้ไม่ถูกล้างออกจากระบบส่งผลให้อายุของเซลล์จึงมีมากอาจมากกว่า 100 วัน แม้ที่ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำต่ำทำให้น้ำที่ไหลออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหากแต่เนื่องจากตัวกลางพลาสติกที่จำหน่ายกันอยู่ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพง คือประมาณ 5,000-10,000 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542: 33) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งประเภท

ผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติก (Recycle bottle) มาเป็นตัวกลางสำหรับเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียซึ่งสามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูกแทนตัวกลางพลาสติกที่มีจำหน่ายกันอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พุทธศักราช 2545-2549 ได้มีการปรับปรุงการพัฒนาประเทศไทยโดยมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาความยากจน และยกระดับคุณภาพชีวิตของคนส่วนใหญ่ของประเทศให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน และความอยู่ดีมีสุขของคนไทยโดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาแบบองค์รวมที่ยึดคนเป็นศูนย์กลางในการพัฒนา และการพัฒนาอย่างมีคุณภาพทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้คนในสังคมมีความสุขถ้วนหน้าสามารถพึ่งตนเองก้าวหน้าตามโลกได้อย่างรู้เท่าทันโดยยังคงรักษาเอกลักษณ์ของความเป็นไทย (สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาระบบเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. 2545: 37) ซึ่งสอดคล้องกับการปฏิรูปการศึกษาตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ที่ได้แสดงเจตจำนงค์ไว้ถึงรูปแบบ และแนวการสอนที่ต้องการให้ผู้เรียนเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ทั้งร่างกาย จิตใจ สติปัญญา ความรู้ และคุณธรรม มีจริยธรรมและวัฒนธรรมในการดำรงชีวิตสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุขซึ่งกระบวนการเรียนรู้ซึ่งจะนำผู้เรียนไปสู่เป้าหมายเหล่านี้ต้องยึดหลักการว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุดพร้อมทั้งได้ให้แนวทางการจัดกระบวนการเรียน เช่น การจัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง เป็นต้น (อมรวิทย์ นาคพรทพ. 2545: 28)

ในปัจจุบันการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แม้ว่าได้มีการปรับปรุงแก้ไขมาโดยตลอดแต่ก็ยังคงพบปัญหาอุปสรรคอีกมากมาย ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเห็นตรงกันว่าเป็นวิชาที่ยากทำให้มีปัญหาในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และมีนักเรียนจำนวนไม่น้อยไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเพราะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจมากนัก ดังที่กรอบวิสัยทัศน์และทิศทางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พุทธศักราช 2545-2549) ได้สรุปคุณภาพของเด็กไทยในช่วงที่ผ่านมาว่ายังไม่ดีเท่าที่ควร ระบบการศึกษาและกระบวนการเรียนรู้อย่างปรับเปลี่ยนคุณภาพไม่ได้มาตรฐานไม่ได้สร้างคนให้คิดเป็น ทำเป็น และมีคุณธรรม จริยธรรม ส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาระบบเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. 2543: 10) จากสภาพปัญหาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข และพัฒนาอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุตามจุดมุ่งหมายของการปฏิรูปกระบวนการเรียนรู้ตามที่บัญญัติไว้ในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542

แนวคิดของนักการศึกษาในปรัชญาพิพัฒนนิยม (Progressivism) มองว่าการศึกษาต้องพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา โดยจัดให้ผู้เรียนได้เรียนตามความสนใจ ความถนัด และลักษณะของผู้เรียน การสร้างความรู้เกี่ยวข้องกับสภาพสังคม และชีวิตประจำวันของผู้เรียนให้มากที่สุด

ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้ดีเมื่อได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และจากการทำงานร่วมกันระหว่างผู้เรียน (ระพีพันธ์ุ คร้ามมี. 2544: 12)

ในการพัฒนาผู้เรียนเพื่อให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 อาจกระทำได้หลายวิธีรวมทั้งวิธีการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ ซึ่งทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการใช้เครื่องมือ ผังการแก้ปัญหาตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เสริมสร้างเจตคติทางวิทยาศาสตร์ มีความสนุกสนาน และสนใจในการศึกษาค้นคว้าความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (สุรพล วิทคไพบูลย์. 2543: 27)

จากสภาพการณ์ที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงได้นำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาผสมผสานกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียในการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้เป็นนวัตกรรมในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และยังเป็นการเสริมสร้างให้นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมรวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอย
2. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
3. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ดังนี้
 - 3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - 3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลในด้านประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ รวมทั้งได้บทปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีคุณภาพในระดับดี และมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และมีศักยภาพในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวจะเป็นประโยชน์แก่ครูผู้สอนในการพัฒนา และส่งเสริมให้

นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นอีกทั้งได้แนวทางในการพัฒนาทปฏิบัติการเพื่อนำไปสร้างบปฏิบัติการอื่นๆ ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยได้นำหลักการทางวิทยาศาสตร์ และทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียมาพัฒนาเป็นบปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้ในการทดลองสอน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1. ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพครั้งนี้เป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ซึ่งติดตั้งอยู่ที่โรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2. การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพจะกระทำ 2 จุด คือ จุดน้ำเข้าระบบ (Influent) และจุดน้ำออกจากระบบ (Effluent) การเก็บตัวอย่างทั้งหมดเก็บด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ตามค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (positive potential of the Hydrogen ions: pH)
- ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)
- ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)
- ค่าน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)
- ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

ตอนที่ 2 การพัฒนาบปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. เนื้อหาบปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีขอบเขตดังนี้

1.1 บปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนา มี 5 บท คือ

- 1) บปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 2) บปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 3) บปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- 4) บปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
- 5) บปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

1.2 แต่ละบทของบทปฏิบัติการมีองค์ประกอบ ดังนี้

1) ชื่อบทปฏิบัติการ 2) ใ้บทความรู้ 3) หลักการ 4) จุดประสงค์ 5) เวลาที่ใช้ 6) อุปกรณ์และสารเคมี 7) วิธีการทดลอง 8) แบบรายงานผลการทดลอง และ 9) คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

1.3 คุณสมบัติขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการ

องค์ประกอบที่ 1 ชื่อบทปฏิบัติการ ต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของกิจกรรมที่ต้องการเป็นอย่างไร

องค์ประกอบที่ 2 ใ้บทความรู้ ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด และต้องสอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

องค์ประกอบที่ 3 หลักการ ต้องมีความสอดคล้องกับบทปฏิบัติการ และเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

องค์ประกอบที่ 4 จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้ วัดได้ เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง

องค์ประกอบที่ 5 เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่กำหนด

องค์ประกอบที่ 6 อุปกรณ์และสารเคมี ต้องเหมาะสมกับระดับนักเรียน และเรื่องที่ทำ การทดลอง

องค์ประกอบที่ 7 วิธีการทดลอง ต้องเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ เรียงลำดับกิจกรรมได้เหมาะสม มีความยากง่ายพอเหมาะ ภาษาชัดเจนก่อให้เกิดความคิดรวบยอด ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็นมีส่วนร่วม ในกิจกรรม และส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง

องค์ประกอบที่ 8 แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอนสอดคล้องกับเนื้อหาวิชา และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน

องค์ประกอบที่ 9 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับการทดลอง และจุดประสงค์ จำนวนข้อ ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 250 คน จำนวน 5 ห้องเรียน

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพฯ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 40 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบจัดกลุ่ม (Cluster random sampling) จำนวน 1 ห้องเรียน

1.2 ตัวแปรต้น ได้แก่ การสอนโดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1.3 ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 2) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2. ระยะเวลาที่ในการทดลองสอน

การทดลองสอนกระทำในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 ในคาบวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 คาบ คาบละ 50 นาที รวม 10 คาบ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย หมายถึง ความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย

2. ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ หมายถึง ขวดพลาสติกชนิดขุนที่ใช้บรรจุน้ำดื่มปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่นำมาตัดปากขวดและกันขวดแล้วใส่ลงไปในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อให้เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์

3. การพัฒนาบทปฏิบัติการ หมายถึง กระบวนการวิจัยและพัฒนาซึ่งนำทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ การหาคุณภาพ ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และการทดลองสอน

4. คุณภาพของบทปฏิบัติการ หมายถึง คุณภาพระดับดีของบทปฏิบัติการซึ่งได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.41-4.20 จากมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

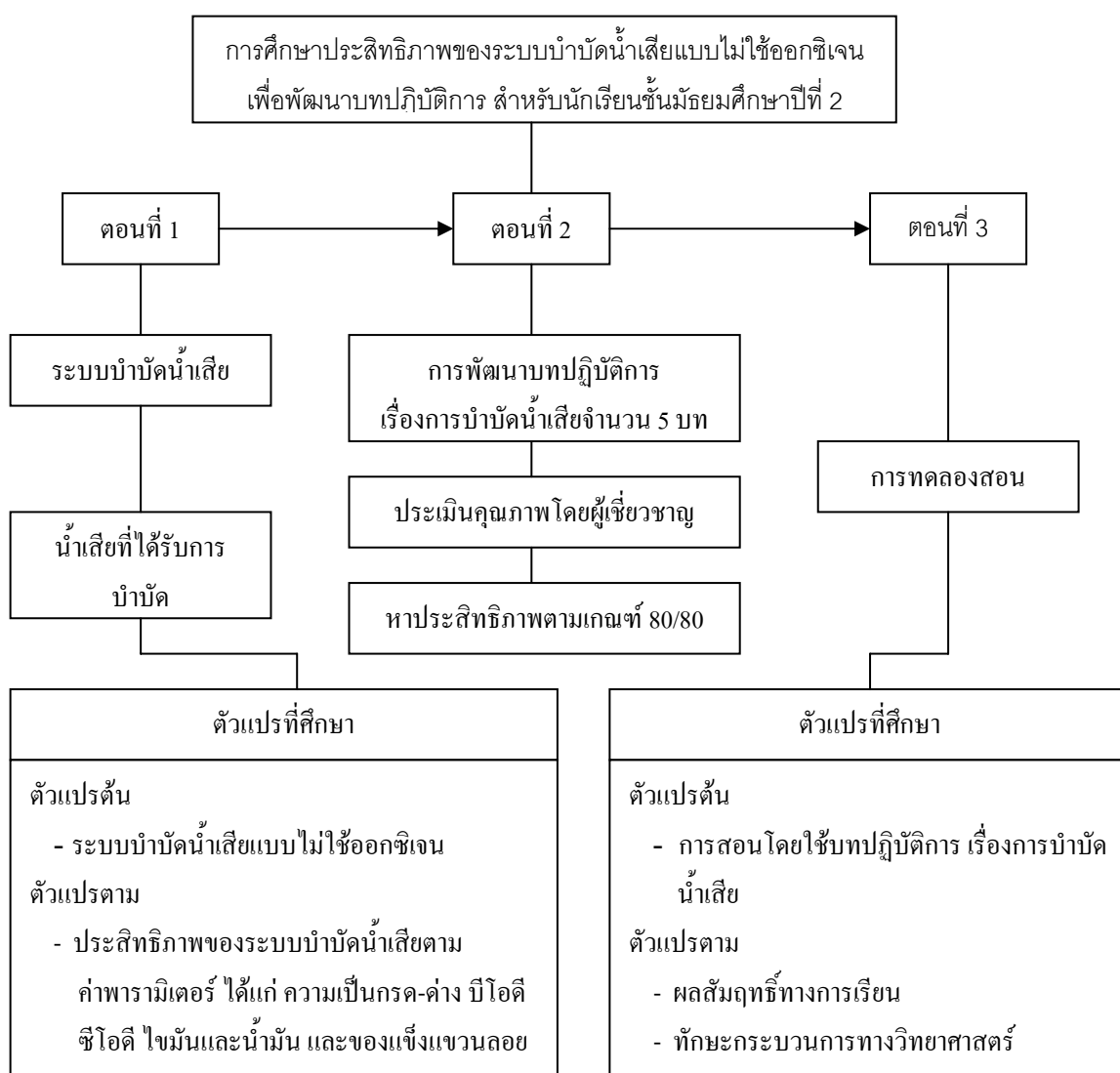
5. ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ หมายถึง ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ที่ได้จากอัตราส่วนร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนเฉลี่ยระหว่างบทเรียนย่อยกับคะแนนสอบรวบยอด

6. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้จากการใช้สมองของผู้เรียนเป็นกลไกในการเรียนรู้ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกเป็นเครื่องมือวัดผล

7. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมทักษะด้านการสังเกต การวัด การทดลอง และด้านการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกเป็นเครื่องมือวัดผล

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีศักยภาพในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้าน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

1. คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร
2. นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
3. นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ
5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวกลางในการบำบัด
7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ
8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ตรวจวัด
9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรสถานศึกษา
10. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพัฒนานวัตกรรมการสอน
11. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ
12. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
13. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
14. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ในการสร้างเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้
15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
 - 15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ
 - 15.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำนวัตกรรมไปทดลองสอน

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนต่างๆ มากมายจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไปไม่เหมาะสำหรับใช้ประโยชน์ต่อไปอีกหรือถ้าปล่อยลงสู่ลำนํ้าธรรมชาติทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2545: 1)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของมลสาร สารเคมีที่เป็นพิษหรือมีสัดส่วนขององค์ประกอบผิดไปจากธรรมชาติจนมีผลต่อสุขภาพ และอนามัยของมนุษย์ สัตว์ และพืช (เกษม จันทรแก้ว. 2541: 502)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ อยู่ในปริมาณสูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป (มันสิน ตันทุลเวศม์. 2538: 39)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิมกลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการจนมีผลกระทบต่อธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป

1.2 ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.2.1 น้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนรวมทั้งกิจกรรมที่เป็นอาชีพด้วย (มันสิน ตันทุลเวศม์. 2542: 2) ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคาร โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ร้านค้า และอาคารสำนักงาน เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนมากจะมีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเป็นสาเหตุหลักของการทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

1.2.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท น้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นน้ำล้างจากกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การล้างถังหรือภาชนะทุกประเภท (มันสิน ตันทุลเวศม์. 2542: 2) ทำให้องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น สารเคมี และโลหะหนัก เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตรวมทั้งระบบควบคุม และบำรุงรักษา (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

1.2.3 น้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับการใช้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมีต่างๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูกจะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารพิษต่างๆ

ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ประเภทของน้ำเสียสามารถจำแนกตามกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กิจกรรมของชุมชน อุตสาหกรรม และกิจกรรมทางการเกษตร จึงส่งผลให้เกิดสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำซึ่งอยู่รูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์

1.3 ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสีย

ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1.3.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ธาตุไฮโดรเจน และอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วยตัวอย่างของสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี

1.3.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ชัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

1.3.3 โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ เช่นปรอท โครเมียม และทองแดง ปกติจะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร

1.3.4 ไขมันและน้ำมัน สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้งจนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น สารประกอบเหล่านี้เมื่อปนมากับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

1.3.5 อุณหภูมิ ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดในถังย่อยสลายตายหรือเจริญเติบโตช้าลง อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียควรอยู่ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส

1.3.6 ของแข็ง เป็นตะกอนภายหลังการระเหยด้วยไอน้ำ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ตะกอนที่เกิดขึ้นมีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ของแข็งตกตะกอน (Settleable solids) ของแข็งทั้งหมด (Total solids) และของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)

1.3.7 สี และความขุ่น เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในแหล่งน้ำ

1.3.8 กรด-ด่าง น้ำที่มีคุณภาพดีจะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียง หรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5-9

1.3.9 จุลินทรีย์ โดยทั่วไปสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ ยูคาริโอต (Eucaryotes) ยูแบคทีเรีย (Eubacteria) และอาร์คีแบคทีเรีย (Archaeobacteria) โดยสองกลุ่มหลังมักเรียกรวมกันว่า กลุ่มโพรคาริโอต (Procaryotes) ซึ่งแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่มยูคาริโอต (Eucaryotes) ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ รา โปรโตซัว โรติเฟอร์ และสาหร่าย (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

จากการจำแนกองค์ประกอบของน้ำเสียสรุปได้ว่า องค์ประกอบต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำที่เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจนกลายเป็นน้ำเสีย องค์ประกอบนั้นได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนักและสารพิษอื่น ไขมันและน้ำมัน ความร้อนของแข็ง สี ความขุ่น กรด-ด่าง และจุลินทรีย์

1.4 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การดำเนินการเปลี่ยนสภาพขององค์ประกอบในน้ำเสีย น้ำเน่าจากแหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมหรือดีขึ้นก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม หรือนำน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์อีก (วีระ ตั้งชาวล. 2545: 184)

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำเสียหรือนำมาบำบัดสภาพให้สะอาดจนมีของเสียเหลือน้อยมากเท่าที่เทคโนโลยีจะอำนวยความสะดวก เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม (สุรพล วิหคไพบูลย์. 2543: 17)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำเสียให้หมดไปหรือให้เหลือน้อยที่สุดจนอยู่ในค่าเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์

1.5 ประเภทของการบำบัดน้ำเสีย

ประเภทของการบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.5.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นวิธีการแยกสิ่งเจือปนออกจากแหล่งน้ำ เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดคือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังดักตะกอน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

1.5.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใด

อย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

1.5.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อยลงโดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ (Anaerobic organisms) ระบบบำบัดที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบเร่งตะกอน (Activated sludge) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological contactor) ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) เป็นต้น (กองจัดการคุณภาพน้ำ ควบคุมมลพิษ. 2545: 24-25)

จากการจำแนกประเภทของการบำบัดน้ำเสียสรุปได้ว่า การเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย แม้ว่าการบำบัดแต่ละประเภทจะมีวิธีการที่แตกต่างกันแต่สิ่งที่มีเหมือนกันก็คือเพื่อกำจัดสารพิษออกจากน้ำเสียทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

1.6 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1.6.1 การบำบัดเบื้องต้น (Primary treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดทราย ถังตกตะกอนเบื้องต้น และบ่อดักไขมัน การบำบัดน้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50-70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ร้อยละ 25-40

1.6.2 การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการเบื้องต้นมาแล้วแต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็ก สารอินทรีย์ที่ละลาย และไม่ละลายในน้ำเสียเหลือค้างอยู่ โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองจะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอนทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงผ่านน้ำเข้าสู่ระบบฆ่าเชื้อโรคเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อนก่อนที่จะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

1.6.3 การบำบัดขั้นสูง (Advance treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร สี สารแขวนลอย ที่ตกตะกอนยากและอื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ ให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นเหตุทำให้น้ำเน่า แก่ปัญหาความน่ารังเกียจของแหล่งน้ำอันเนื่องจากสี และการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ระบบบำบัดขั้นที่สองไม่สามารถกำจัดได้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ ควบคุมมลพิษ. 2545: 26-27)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียแต่ละขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่แตกต่างกันออกไป เริ่มจากการบำบัดขั้นต้นเป็นการแยกสิ่งสกปรกโดยกระบวนการทางกายภาพ แต่ยังมีสิ่งสกปรกบางประเภทที่ยังไม่ถูกบำบัดจะถูกส่งเข้าสู่การบำบัดขั้นที่สองซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดสิ่งสกปรก และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการบำบัดขั้นสูงเพื่อบำบัดสิ่งสกปรกที่เหลือจากการบำบัดในขั้นที่ผ่านมาทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่หรือปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้

2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพเป็นวิธีที่จำเป็นต้องใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยแรงต่างๆ มากระทำ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงกดดัน แรงลอยตัว การดักสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำ และการกวาดพวงน้ำมันต่างๆ เป็นต้น เกรียงศักดิ์ อุดมโรจน์สิน (2539: 83-117) ได้จำแนกวิธีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพออกเป็น 7 วิธี คือ

2.1 การใช้ตะแกรง (Screen)

ตะแกรงมีไว้ใช้ในการดักเศษขยะต่างๆ เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ และเศษพลาสติก เป็นต้น มีประโยชน์มากต่อการช่วยเสริมประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัด และป้องกันการเสียหายที่มีต่อเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องเติมอากาศ เป็นต้น ตะแกรงมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบซึ่งมีช่องว่างตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป และตะแกรงละเอียดซึ่งมีช่องว่างอยู่ระหว่าง 2-6 มิลลิเมตร โดยทั่วไปจะนิยมใช้ตะแกรงหยาบในงานบำบัดน้ำเสียทั่วไป สำหรับตะแกรงละเอียดจะถูกใช้ก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นเท่านั้นเนื่องจากมักจะอุดตันง่าย เช่น น้ำเสียจากโรงงานฆ่าไก่ซึ่งจะมีขนไก่ติดลอยมากับน้ำเสียโรงงาน เป็นต้น

2.2 การตัดย่อย (Comminution)

เครื่องตัดย่อยมีหน้าที่บดตัดเศษขยะที่ไหลมากับน้ำเสียเพื่อให้เศษขยะนี้มีขนาดเล็กลง เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้น ในการเลือกใช้เครื่องตัดย่อยจำเป็นต้องพิจารณาถึงความทนทานของเครื่องเป็นปัจจัยสำคัญเพราะต้องทำงานหนักตลอดเวลา และควรมีท่ออ้อม (Bypass) เพื่อระบายน้ำเสียอีกช่องทางหนึ่งติดตั้งอยู่ด้วย เนื่องจากเครื่องตัดย่อยจะต้องมีการหยุดเครื่องเพื่อการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมบ่อยครั้งเมื่อน้ำเสียมีเศษขยะไปทำให้เครื่องหยุดทำงาน

2.3 การกำจัดตะกอนหนัก (Grit removal)

ตะกอนหนัก คือพวกกรวด หิน ทราย หรือตะกอนต่างๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ตะกอนหนักดังกล่าวนี้จำเป็นต้องถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสียเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรกลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย เช่น เครื่องสูบน้ำ นอกจากนี้ยังป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันในระบบท่อของโรงบำบัดน้ำเสีย และการจับตัวเป็นก้อนใหญ่ของตะกอน ซึ่งจะส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียเกิดความเสียหายได้

2.4 การกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease removal)

น้ำมันและไขมันพบมากในน้ำทิ้งจากร้านอาหารทั่วไป สถานีจำหน่ายน้ำมัน ตู้ซ่อมรถยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่มีไขมัน การกำจัดน้ำมันและไขมันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยลดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหรือไขมัน การเป่าอากาศเพื่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากจนสามารถพาพวกน้ำมันหรือไขมันลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดออกจากระบบต่อไป แต่วิธีที่นิยมได้แก่การสร้างถังดักไขมันที่มีแผ่นกั้นขวางอยู่ในบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งหลักในการออกแบบถังดักไขมัน คือต้องมีขนาดพื้นที่ผิวของถังเพียงพอกับปริมาณไขมันที่จะลอยขึ้นมา ความเร็วของน้ำไหลภายในถังต้องต่ำที่สุด บริเวณทางออกต้องไม่ทำให้พวกไขมันหลุดลอยออกไปได้ เวลาในการเก็บกักของถังดักไขมันควรมีมากกว่า 30 นาทีแต่ต้องไม่นานเกินไปจนเพราะจะส่งผลทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้นในถัง

2.5 การตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอนเป็นวิธีการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียโดยอาศัยการจมตัวของตะกอนแขวนลอยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนสูงกว่าน้ำ ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมักจะมีถังตกตะกอนอยู่ 2 ชนิด คือ ถังตกตะกอนที่ทำหน้าที่แยกตะกอนต่างๆ ออกจากน้ำเสียก่อนที่จะไหลไปลงถังบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพ และถังตกตะกอนอีกชนิด คือถังตกตะกอนที่ใช้แยกตะกอนชีวภาพหรือตะกอนเคมีออกจากน้ำเพื่อให้ได้น้ำใสสะอาด

2.6 การทำให้ตะกอนลอย (Flotation)

ระบบนี้มีหลักการคือ แยกตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีทำให้ตะกอนต่างๆ ในน้ำเสียลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวน้ำเพื่อทำการกวาดตะกอนลอยทิ้งออกไป วิธีนี้นิยมใช้กับตะกอนประเภทที่ตกตะกอนยาก เช่น พวกไขมันสัตว์ ตะกอนเบาต่างๆ เป็นต้น ระบบนี้จะใช้พื้นที่และเวลาในการแยกตะกอนน้อยกว่าวิธีตกตะกอนแต่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกล และพลังงานมากกว่าของวิธีตกตะกอน และอาจจำเป็นต้องเติมสารเคมีเข้าช่วยในการยกตะกอนด้วย เช่น สารส้ม เป็นต้น

2.7 การกรอง (Filtration)

การกรองน้ำคือ การที่นำน้ำให้ไหลผ่านชั้นกรองโดยอาจใส่สารเคมีหรือไม่ใส่สารเคมีลงไป ในชั้นกรองทำให้ตะกอนต่างๆ ในน้ำจะถูกดักหรือกักไว้ในบริเวณถังกรอง และจะปล่อยให้ น้ำที่ใสไหล ออกจากระบบการกรอง เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการกรองน้ำแล้วจำเป็นจะต้องมีการล้างชั้นกรองเพื่อไล่ ตะกอนออกจากระบบกรองน้ำให้หมดซึ่งสามารถทำได้โดยใช้น้ำสะอาดไหลผ่าน ชั้นกรองซึ่งต้องมี ทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบโดยน้ำที่ใช้ล้างนี้จะปล่อยไหลกลับเข้าสู่ ถังตกตะกอนหรือไหลกลับเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพต่อไป

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพเป็นกระบวนการบำบัด น้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย ซึ่งโดยมากจะ เป็นกระบวนการแรกของวิธีการบำบัดน้ำเสีย

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีเป็นวิธีการบำบัดโดยการกำจัดหรือแยกสารต่างๆ ที่ปนเปื้อนออกจากน้ำเสียวิธีนี้จะต้องใช้สารเคมีต่างๆ เติมลงไป ในน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ ทำให้เกิดการแยกสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ข้อเสียของการเลือกใช้กระบวนการ ทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียก็คือเมื่อได้เติมสารเคมีลงไป ในน้ำเสียแล้วจะมีปริมาณสารเคมีผสมอยู่ใน น้ำเสียซึ่งทำให้เกิดผลกระทบในด้านต่างๆ เช่น จะมีตะกอนเคมีเกิดเพิ่มขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายในการใช้ สารเคมี แต่ถ้า น้ำเสียไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางชีวภาพก็จำเป็นต้องเลือกวิธีบำบัด ด้วยวิธีทางเคมี เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารโลหะหนักหรือสารใดๆ ที่ไม่สามารถย่อยสลาย ด้วยจุลินทรีย์ได้ ซึ่งเกรียงศักดิ์ อุดมโรจน์สิน (2539: 120-167) ได้จำแนกการบำบัดน้ำเสียทางเคมีเป็น วิธีต่างๆ ดังนี้

3.1 การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation)

กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายให้ เป็นสารที่อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำ (Insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสีย เช่น สารส้ม (Alum) ปูนขาว (Lime) เป็นต้น ซึ่งเมื่อผสมเข้าด้วยกันจะเกิดการจับตัวกันระหว่างสารเคมีดังกล่าวกับสารละลาย ทำให้สามารถแยกมลสารที่ไม่ต้องการออกจากน้ำเสียได้

3.2 การสร้างตะกอนรวมเคมี (Coagulation flocculation)

กระบวนการนี้มี 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือขั้นตอนแรกเป็นการเติมสารเคมีจำพวกสารสร้าง ตะกอน ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก เป็นต้น ผสมกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอย ขั้นตอนที่สอง คือการกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยกับสารสร้างตะกอนจนได้เป็น

ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ที่สามารถตกตะกอนได้ สาเหตุที่ต้องทำการกวนอย่างช้าๆ เพราะไม่ทำให้สภาพการเกาะตัวกันของตะกอนเกิดการแตกหลุดจากกัน

3.3 การปรับค่า pH

การปรับ pH ในน้ำเสียมีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีเพื่อแยกมลสารออกจากน้ำซึ่งต้องมี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยทั่วไปการปรับ pH จะใช้สารเคมี 2 ประเภทคือ ประเภทกรด และประเภทด่างซึ่งแล้วแต่ความต้องการในการปรับ pH ถ้าต้องการปรับ pH ให้สูงขึ้นจำเป็นต้องเติมสารประเภทด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น แต่ถ้าต้องการปรับ pH ให้ต่ำลงจำเป็นต้องเติมสารประเภทกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นต้น และถ้าต้องการปรับ pH ให้เป็นกลางจำเป็นต้องเติมสารใดสารหนึ่งแล้วแต่ค่า pH ของน้ำเสียที่ไหลเข้ามา

3.4 การฆ่าเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียเป็นการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคติดต่อและโรคที่ไม่ติดต่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียมีวิธีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค 4 วิธี คือ วิธีทางกายภาพโดยการใช้แสงและความร้อน วิธีทางเคมีโดยการเติมสารเคมีต่างๆ เช่น คลอรีน โบรมีน เป็นต้น วิธีทางกายภาพโดยการกำจัดตะกอนที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย และวิธีแผ่รังสีโดยอาศัยรังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี เช่น โคบอลต์-60 วิธีนี้จะไม่มีการเติมสารเคมีลงเหลืออยู่ในน้ำเสียที่ผ่านระบบฆ่าเชื้อโรคแต่จะมีปัญหาเรื่องความปลอดภัยของการใช้รังสี

3.5 การไล่อากาศ (Gas stripping)

สารละลายบางชนิดที่อยู่ในน้ำเสียสามารถถูกกำจัดหรือแยกออกจากน้ำเสียได้ด้วยสารแอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และฟีนอล (Phenol) เป็นต้น สำหรับสารจำพวกสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มักจะพบอยู่ในน้ำเสีย เช่น ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ก็สามารถใช่วิธีไล่อากาศในการกำจัดสารดังกล่าวได้เช่นกัน แต่วิธีไล่อากาศของสารทั้งสองประเภทจะมีวิธีการที่แตกต่างกันคือ สารละลายบางชนิดที่อยู่ในน้ำเสียจะใช่วิธีปรับ pH ของน้ำเสียก่อนแล้วจึงให้ไหลผ่านหอกระจายน้ำลงสวนทางกับกระแสลมที่เป่าขึ้น และสารจำพวกสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะใช่วิธีการเป่าอากาศ หรือตีผิวน้ำด้วยใบพัดในถังเติมอากาศ

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมสารเคมีลงในน้ำเสียทำให้ปฏิกิริยาเคมีขึ้นเพื่อแยกหรือกำจัดสารต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียให้ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนด

4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพเป็นการนำเอาจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย รองลงมาได้แก่ รา สาหร่าย และโปรโตซัว ให้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียผลจากการย่อยสลาย บางส่วนจะกลายเป็นก๊าซ และส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายจะกลายเป็นของเหลวหรือสลัดจ์ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ หลายชนิดรวมทั้งเซลล์ของแบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่ และที่ตายแล้ว เมื่อแยกเอาตะกอนเหลวออกไปแล้วน้ำส่วนที่เหลือจะค่อนข้างใสจะเรียกว่าน้ำทิ้ง ซึ่งมีค่าบีโอดีต่ำสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้โดยไม่ทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย (วีระ ตั้งชวาล. 2545: 213) การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

4.1 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนมีหลายระบบเริ่มตั้งแต่ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation ponds) ซึ่งเป็นระบบที่ง่ายที่สุดโดยอาศัยธรรมชาติ และไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ใดๆ เลยจนถึงระบบเร่งตะกอนที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด อย่างไรก็ตามระบบบำบัดต่างๆ นี้อาศัยหลักการเดียวกัน คือใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น ระบบบำบัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมกิจกรรมของแบคทีเรีย (เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525: 140) ระบบบำบัดแบบนี้ น้ำเสียจะต้องมีอาหารเสริมให้กับน้ำทิ้งอย่างพอเพียง นอกจากนี้ น้ำทิ้งต้องมีอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม และไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ที่สำคัญที่สุดคือในน้ำทิ้งต้องมีปริมาณออกซิเจนพอเพียงซึ่งออกซิเจนอาจได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย และการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติ ระหว่างน้ำกับอากาศ (Atmospheric aeration) หรือจากการอัดอากาศลงในน้ำเสีย (Diffused aeration) หรือการใช้เครื่องมือผสมอากาศกับน้ำเสีย (วีระ ตั้งชวาล. 2545: 214)

ในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic process) อาจมีการจัดการให้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียใน 2 แบบ คือแบบที่ 1 ใช้จุลินทรีย์แขวนลอย (Suspension growth) ได้แก่ ระบบบำบัดแบบบ่อตาก ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ และระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน และแบบที่ 2 ใช้จุลินทรีย์เกาะกับตัวกลาง (Fixed film bacteria) (วีระ ตั้งชวาล. 2545: 215) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

4.1.1 ระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง เป็นบ่อดินธรรมดาหรือบ่อดินฉาบด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การบำบัดเป็นแบบต่อเนื่องคือ น้ำทิ้งจะไหลเข้าและออกจากบ่อบำบัดตลอดเวลาในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อบำบัด แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนเกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการนี้ ได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายแต่เนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนแบบนี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัด

ด้วยปริมาณออกซิเจน อัตราเร็วของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงค่อนข้างช้า ระบบบำบัดแบบบ่อดักจึงต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อดักขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จะได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบบำบัดน้ำจึงใช้ได้ผลดีในบริเวณที่มีแสงแดดมาก เช่น ในประเทศไทย (สนอง ทองปาน. 2540: 14; อ้างอิงจาก Oswald. 1960: 95)

โดยทั่วไประบบบำบัดแบบบ่อดักมีความลึก 1-1.5 เมตร รับปริมาณบีโอดีได้ 2.56-5.56 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในบางครั้งมีการออกแบบบ่อให้มีความลึกน้อยกว่านี้ คือ ลึกประมาณ 0.3 เมตร หรือไม่เกิน 0.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่องทะลุถึงก้นบ่อทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะได้รับแสงแดดมากจึงจัดเป็นบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง น้ำเสียที่นำมาบำบัดในบ่อแบบนี้ต้องผ่านการตกตะกอนก่อนเพราะบ่อดักมีตะกอนทับถมจนบ่อเต็ม ในเวลาไม่นานบ่อบำบัดแบบนี้จะมีสีเขียวเพราะมีสาหร่ายอยู่มากต้องกำจัดสาหร่ายออกโดยกักไว้ในบ่อใหญ่เป็นเวลานานเพื่อให้สาหร่ายตายและตกตะกอน (วีระ ตั้งชวล. 2545: 215)

4.1.2 ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในลักษณะแขวนลอยเช่นเดียวกับบ่อดักแต่มีขนาดเล็กกว่า และมีการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องเติมอากาศติดตั้งเป็นระยะจึงทำให้ลดค่าบีโอดีได้เร็วกว่าปฏิกิริยาในบ่อดักรับปริมาณบีโอดีได้ 1.13-3.43 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ลักษณะของบ่อเป็นบ่อดินมีความลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและพื้นบ่อดักด้วยก้อนหินใหญ่คอนกรีตหรือพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดเซาะดินในเวลาที่มีการเติมอากาศ และป้องกันการรั่วซึมของน้ำลงปนเปื้อนน้ำใต้ดิน บ่อเติมอากาศอาจเป็นบ่อเดียวหรือหลายบ่อต่อกันแบบอนุกรม ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียในบ่อประมาณ 10 วัน ปริมาณความต้องการออกซิเจนประมาณ 0.7-1.4 เท่าของปริมาณบีโอดีที่จะกำจัด ในกรณีน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อดักค่อนข้างขุ่น จะต้องแยกตะกอนออกโดยตกตะกอนที่บ่อดักตะกอนออก ระยะเวลาตกตะกอนในบ่อประมาณ 6-12 ชั่วโมง ความลึกของบ่อดักประมาณ 6 ฟุต บ่อเติมอากาศมีข้อดีคือใช้พื้นที่น้อยและลดค่าบีโอดีได้เร็วกว่าบ่อดัก ดูแลง่าย ค่าก่อสร้างต่ำ (วีระ ตั้งชวล. 2545: 218)

4.1.3 ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน จัดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนประเภทหนึ่งโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และมีการเติมอากาศและอาหารเสริมเพื่อเร่งให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัดเพราะใช้ที่ดินน้อย ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี สูงมากและไม่มีการล้นเหม็น แต่เป็นระบบที่มีการทำงานสลับซับซ้อนใช้เครื่องกลมาก ค่าใช้จ่ายสูง

สรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนจะใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนโดยปริมาณออกซิเจนจะได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งสามารถแบ่งเป็นระบบต่างๆ ตามวิธีการให้ออกซิเจน และการควบคุมกิจกรรมของแบคทีเรียได้ดังนี้คือ ระบบบำบัดแบบบ่อตาก ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ และระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน

4.2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงไม่ใช้กันอย่างแพร่หลายนักในประเทศที่มีอากาศหนาวเพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสีย (สนองทองปาน. 2540: 16; อ้างอิงจาก Lund. 1971: 86) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งเป็น 9 ระบบ คือ

4.2.1 ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic pond) เป็นบ่อดินขนาดใหญ่มีความลึกประมาณ 3-4.5 เมตร ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียประมาณ 1 เดือน โดยมีท่อน้ำเสียเข้าส่วนด้านล่างของบ่อเพื่อให้เกิดตะกอน และเกิดการย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้อากาศเกิดเป็นกรดอินทรีย์ (Organic acid) มีลักษณะเป็นน้ำใส และจะระบายไปยังบ่อน้ำเสียแบบกึ่งแอโรบิก (Facultative oxidation pond) ทั้งนี้กรดอินทรีย์บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ในขณะที่เดียวกันไขมันหรือตะกอนลอยที่ระบายมากับน้ำเสียก็จะลอยตัวอยู่บนผิวน้ำป้องกันมิให้อากาศภายนอกซึมลงในบ่อ ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง และอาจมีกลิ่นไม่ดี ระบบนี้จึงเหมาะเฉพาะกับชนบทหรือบริเวณชานเมือง

4.2.2 ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ (Septic tank) สร้างเป็นบ่อคอนกรีตปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า อยู่ใต้พื้นดินใช้รับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มากนักมีระยะเวลากักน้ำประมาณ 1-3 วัน การทำงานเหมือนกับบ่อเหม็นทุกประการ น้ำใสที่ระบายจากบ่อเกรอะจะต่อไปกับบ่อเติมอากาศระบบแบบเร่งตะกอนหรือถังกรองไร้อากาศ การดูแลรักษาจะต้องทำการสูบตะกอนภายในบ่อทุกๆ 1-1.5 ปี มิฉะนั้นประสิทธิภาพของบ่อจะลดลงหรือตะกอนแข็งทำให้สูบตะกอนได้ยากในภายหลัง ปกติระบบนี้จะลดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ประมาณ 30% บ่อเกรอะมักใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีประชากรไม่เกิน 300 คน และมักมีบ่อซึมตามเสมอ

4.2.3 ระบบบำบัดแบบถังหมักธรรมดา (Conventional anaerobic digestion) เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการย่อยสลายตะกอนจากระบบเร่งตะกอน ระบบบำบัดประกอบด้วยถังปฏิกิริยา

ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถังคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซ บนผามีทางระบายก๊าซที่เกิดขึ้น ระบบถังหมักธรรมดา มี 2 แบบ คือ

4.2.3.1 ถังหมักชนิดอัตราจำกัดต่ำ (Low rate anaerobic digestion) ในถังไม่มีเครื่องกวนทำให้มีตะกอนหนักจมก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นบนเบาจะหนาหลายฟุตซึ่งเป็นการลดปริมาตรของถังย่อย และยังทำให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) ได้ง่ายอีกด้วย

4.2.3.1 ถังหมักอัตราจำกัดสูง (High rate anaerobic digestion) ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง ถังหมักแบบนี้มีการลัดวงจรน้อยทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย น้อยลง และประสิทธิภาพดีกว่าอัตราจำกัดต่ำเนื่องจากจุลินทรีย์สัมผัสกับของเสียได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่ น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้จำเป็นต้องมีการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกก่อน

ระบบถังหมักธรรมดาทั้งสองแบบมิได้นำตะกอนจุลินทรีย์กลับมาใช้อีกเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนนั้นช้ามาก ดังนั้น ต้องการระยะเวลาการกักเก็บน้ำนาน ประมาณ 10-30 วัน

4.2.4 ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic contact) เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตราจำกัดสูง ซึ่งอาจเป็นถังปฏิกรณ์แบบไม่มีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้แต่ นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้น ถังหมักแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเร่งตะกอน บางครั้งอาจเรียกว่าระบบเร่งตะกอนแบบไร้ออกซิเจน การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอนทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของซีโอดีที่เหมาะสมคือ 4,000-50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.5 ระบบบำบัดแบบเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic filter) มีส่วนประกอบสำคัญคือถังที่มีลักษณะคล้ายถังกรองบรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมถึงสูงตลอดเวลา และทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรองทำให้น้ำที่ไหลออกมาจึงมีความใส โดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก ถังหมักแบบนี้เหมาะสมสำหรับกำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำเพราะมีสัณฐานที่หนาแน่น (Sludge retention time) สูงกว่ามาก อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือต้องหาวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองได้อย่างสม่ำเสมอ ส่วนในเรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเช่นกันแต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองไร้ออกซิเจน

4.2.6 ระบบบำบัดแบบแวนแวนโรบิกฟลูอิดเบด (Anaerobic fluidized bed) ระบบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบตรึงฟิล์มแบบไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางขนาดเล็กเท่ากับเม็ดทรายเป็นที่จับของแบคทีเรีย อัตราการไหลของน้ำจะสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางได้แก่ ทราย แวนทราไซต์ และ

ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็กทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมากในระบบอัตราเร็วในการกำจัดของเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบนี้จึงมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาทำให้เกิดปัญหาในการออกแบบ และควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่นระบบนี้จึงยังไม่ได้ยอมรับ

4.2.7 ระบบบำบัดแบบอัพโฟลแอนแอโรบิกสลัดจ์แบลนค์เกต (Upflow anaerobic sludge blanket) เป็นระบบที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อตัดสารตัวกลางออกจากระบบ ทิศทางการไหลของน้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนแต่ไม่ใช้ตัวกลาง แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดหรือฟล็อกจนกระทั่งมีน้ำหนักรวมจนสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยาจะทำให้แบคทีเรียลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ที่ไม่จมลงกันถึง

4.2.8 ระบบบำบัดแบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic rotating biological contactor) ลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานชีวภาพเพียงแต่มีฝาปิดเพื่อป้องกันมิให้สัมผัสอากาศภายนอก และมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบนผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะ และเจริญเติบโตได้ดีบนผิวจาน

4.2.9 ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic baffled reactor) มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดลงอยู่ในแนวนอน ถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ระบบนี้เป็นระบบที่มีพื้นผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำได้ดีโดยไม่ต้องมีการใช้อุปกรณ์ตกตะกอนอื่นๆ ก๊าซสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ดีและง่ายเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์สามารถกระทำได้ดีจึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบจำนวนมาก การกำจัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราเร็วสูง (เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 2538: 282-292)

สรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดอื่นๆ ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียมาทำการย่อยสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนเป็นผลให้ใช้เวลาในการบำบัดน้อยลง ลดปริมาณตะกอน และกลิ่นเหม็นลงได้ดี

5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้เป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ ดังนั้น ระบบนี้จึงมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่ซับซ้อนกว่าระบบใช้ออกซิเจนมาก (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539: 227)

5.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (2538: 274-275) กล่าวว่า หลักการบำบัดของระบบนี้คือทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

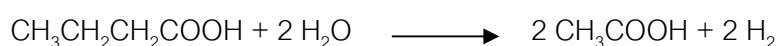
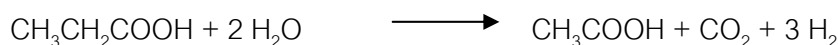
กระบวนการนี้สารประกอบอินทรีย์ประเภทซับซ้อนทั้งที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันจะถูกทำให้ละลายน้ำโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งใช้เอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนและละลายน้ำ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน

5.1.2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียประเภทดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria) ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยกระบวนการหมัก (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดไขมันที่สั้นที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวไทริก (Butyric acid) กรดเวเลอริก (Valeric acid) แบคทีเรียจำพวกนี้ เรียกว่าแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid Former หรือ Non methanogenic bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ ความเข้มข้น และสภาพแวดล้อมของปฏิกิริยา

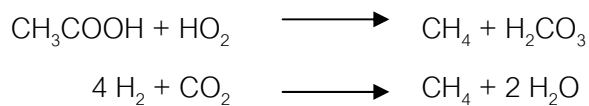
5.1.3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

กรดไขมันที่สั้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอะซิโดเจเนซิสสามารถถูกเปลี่ยนโดยแบคทีเรียโฮโมอะซิโตเจนิค (Homoacetogenic bacteria) ไปเป็นอะซิเตท (Acetate) ฟอर्मेट (Formate) ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในกระบวนการสร้างมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดไขมันที่สั้น และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอจะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้



5.1.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด และไฮโดรเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทนเรียกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria)



จากขั้นตอนต่างๆ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์สรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ โดยแบคทีเรียซึ่งมี 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ และแบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนทำให้ลดปริมาณตะกอนสลัดจ์ และกลิ่นได้เป็นอย่างดี

5.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบ

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ จะทำงานอย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสภาพแวดล้อมให้มีสภาพเหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์เหล่านั้นอยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดีซึ่งนอกจากจะต้องรักษาระบบให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนแล้วยังต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

5.2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ อยู่ระหว่าง 30-38 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่าเมโซฟิลิก แบคทีเรีย (Mesophilic bacteria) และอุณหภูมิระหว่าง 48-57 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำงานช่วงนี้เรียกว่าเทอร์โมฟิลิก แบคทีเรีย (Thermophilic bacteria) โดยการทำงานของจุลินทรีย์ในช่วงเทอร์โมฟิลิกจะดีกว่าช่วงเมโซฟิลิก

5.2.2 สารอาหารจำเป็นสำหรับการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วนดังนี้ บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส (BOD:N:P) เท่ากับ 100:1.1:0.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีปริมาณจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยกว่าระบบที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงมีปัญหาในการกำจัดตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า

5.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-7.6 ถ้าสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดลดลงและถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 6.8-7.2 ซึ่งสามารถทำได้โดยการควบคุมปริมาณกรดโวลาทิล และปริมาณต่าง

5.2.4 สารพิษ ในระบบต้องไม่มีสารพิษ เช่น โลหะหนักต่างๆ แกลืออินทรีย์ แอมโมเนีย และซัลไฟด์ เป็นต้น ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของสารนั้น (เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. 2538: 281)

สรุปได้ว่า สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องมีการรักษาระบบให้อยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ปราศจากสารพิษ มีปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีเพียงพอ ความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.6-7.6 โดยสภาพแวดล้อมดังกล่าวทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดของเสียในรูปของสารอินทรีย์ในระบบให้ลดลงได้

5.3 ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (2538: 282) กล่าวว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประโยชน์ดังนี้

5.3.1 เหมาะสำหรับบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง

5.3.2 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของตะกอนชั้นแรกของน้ำเสียชุมชน ลดความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3.3 เหมาะสำหรับใช้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ธรรมชาติ ตะกอนที่เกิดขึ้นไม่มีกลิ่นที่นำรังเกียจ และยังเป็นตัวปรับสภาพดิน หรือเป็นปุ๋ยได้

5.3.4 ปฏิกริยาขั้นสุดท้ายได้ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตหลักที่มีค่า

5.3.5 ตะกอนสลัดจ์มีเสถียรภาพสูงมีเซลล์เกิดใหม่ในปริมาณต่ำไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน ลดกลิ่นที่นำรังเกียจเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับประเทศในเขตร้อนอย่างประเทศไทย

6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวกลางในการบำบัดน้ำเสีย

6.1 ลักษณะทั่วไปของตัวกลาง

ตัวกลางที่บรรจุในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลต่อการสะสมของเซลล์แบคทีเรีย โดยจะกักเซลล์มิให้หลุดออกไปจากระบบและยังเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ปัจจุบันตัวกลางที่นิยมใช้ได้มาจากธรรมชาติ เช่น หิน กรวดหรืออาจทำขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก การที่จะเลือกชนิดของตัวกลางย่อมต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย และความประหยัดด้านค่าใช้จ่ายของระบบ ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องมีพื้นที่ผิวมาก และมีค่าความพรุนสูงเพื่อที่จะลดปัญหาการอุดตัน ปัญหาของการไหลลัดวงจร และปัญหาด้านไฮดรอลิก (Hydraulic) จากการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับสมบัติของตัวกลางมีการแนะนำขนาดของหิน กรวด ควอตซ์ไท์ (Quartzite) ที่จะนำมาเป็นตัวกลางควรมีขนาดประมาณ 1-1.5 นิ้ว ซึ่งจะให้ค่าความพรุนร้อยละ 42-47 และพื้นที่ผิวต่อปริมาตร 140 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร และถ้าใช้ตัวกลางพวกแอกทิเวตเต็ด คาร์บอน (Activated carbon) ขนาด 0.85-2 มิลลิเมตร จะให้ค่าความพรุนเท่ากัน แต่จะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงสุดถึง 3,700 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการความพรุนสูงมากประมาณร้อยละ 85-90 ควรใช้ตัวกลางที่เป็นพลาสติกซึ่งตัวกลางพลาสติกสามารถแบ่งแยกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

6.1.1 ตัวกลางพลาสติกแบบเวอร์ทิคัล ชีท (Vertical sheet) และเวอร์ทิคัล ทูบ (Vertical tube) เป็นตัวกลางที่ผลิตขึ้นจากพลาสติกพีวีซี (Polyvinyl chloride) ที่อัดขึ้นรูปเป็นลอนแล้วประกอบเป็นทรงเหลี่ยมภายในจะมีช่องว่างเล็กๆ เป็นจำนวนมาก น้ำหนักแห้งเฉลี่ยประมาณ 40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวกลางพลาสติกส่วนใหญ่จะมีความพรุนตั้งแต่ร้อยละ 90-95 และมีพื้นที่ผิวสัมผัสตั้งแต่ 85-230 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

6.1.2 ตัวกลางพลาสติกแบบแรนดอม พาร์คคิง (Random parking) ลักษณะของตัวกลางประเภทนี้จะมีรูปร่างเป็นชิ้นอิสระ ผลิตจากพลาสติกพีวีซีหรือพลาสติกโพลีโพรไพลีน (Polypropylene) ที่อัดขึ้นรูป ภายในจะมีครีบริบหรือแผ่นกั้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้นขนาดตั้งแต่ 50-90 มิลลิเมตร น้ำหนักแห้งประมาณ 40-70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวกลางพลาสติกประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีความพรุนตั้งแต่ร้อยละ 90-95 และมีพื้นที่ผิวสัมผัสตั้งแต่ 85-230 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวกลางพวกสารอินทรีย์ เช่น ชังข้าวโพด ซึ่งลักษณะของผิวตัวกลางจะมีอิทธิพลต่อการติดหรือแขวนลอยของแบคทีเรียโดยสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อเวลากักตะกอนของในระบบ เช่น ผิวของชังข้าวโพดให้ออกาสกับแบคทีเรียเกาะติดผิวได้ดีกว่าหินหรือตัวกลางที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ เช่น พลาสติก จึงทำให้ชังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูง แต่อายุการใช้งานของตัวกลางชนิดนี้ไม่ยาวนานเนื่องจากจะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่ (เชิดศักดิ์ อ่อนระยับ. 2548: 38-42; อ้างอิงจาก โรมรัน วงศ์วิรัตน์. 2542) จะเห็นได้ว่าตัวกลางมีบทบาท

สำคัญต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และมีผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบ เช่น การใช้หิน กรวด เป็นตัวกลางจะมีผลต่อการออกแบบฐานรากในการที่จะรองรับน้ำหนักของตัวกลาง การใช้ตัวกลางพลาสติกอาจจัดปัญหาฐานรากแต่ตัวกลางพลาสติกมีราคาแพง ตัวกลางที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ สามารถจับตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียได้ค่อนข้างดีมาก แต่มีข้อเสียที่ตัวกลางชนิดนี้ค่อนข้างด้านการไหลของกระแสน้ำทำให้เกิดปัญหาการอุดตันได้ง่ายโดยเฉพาะเม็ดตัวกลางที่มีขนาดต่างๆ กัน คละกันจะมีความเป็นรูพรุนต่ำไม่ควรนำมาใช้ในระบบ ส่วนตัวกลางที่เป็นลักษณะแผ่นเรียบ แผ่นลอยหรือตาข่ายมักมีอายุการร่อนนานเกิดการอุดตันช้าแต่จะดักตะกอนแขวนลอยได้ไม่ดี ข้อพิจารณาในการเลือกและติดตั้งตัวกลางโดยทั่วไป มีดังนี้

6.1.1 มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะมาก

6.1.2 มีค่าความพรุนมาก

6.1.3 มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำเพื่อไม่ให้น้ำหนักในถังมากเกินไป

6.1.4 จัดวางตัวกลางไว้ในลักษณะทรงกระบอกตั้งหรือในลักษณะที่น้ำสามารถกระจายตัวไหลผ่านตัวกลางได้สม่ำเสมอ

6.1.5 มีลักษณะผิวตัวกลางที่สามารถให้ฟิล์มจุลินทรีย์ยึดเกาะได้ดี

6.1.6 มีความต้านทานน้ำไหลผ่านผิวตัวกลางต่ำ

6.1.7 มีความคงทนทั้งในด้านกายภาพ และชีวภาพ

6.1.8 หาได้ง่าย มีราคาถูก ขนส่งง่าย และติดตั้งในถังได้สะดวก

ในการพิจารณาเลือกตัวกลางเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อระบบบำบัดน้ำเสีย ขนาดพื้นที่จำเพาะเป็นปัจจัยแรกที่ถูกนำมาพิจารณาโดยปกติแล้วจะมีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 100-300 ตารางต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีการรองรับบีโอดีเท่ากับ 500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (เชิดศักดิ์ อ่อนระยัป. 2548: 39)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ตัวกลางทำหน้าที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะไม่ให้ไหลออกไปกับกระแสน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์หรือจากวัสดุธรรมชาติ ตัวกลางที่ดีต้องมีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะมาก ความต้านทานน้ำต่ำ น้ำหนักเบา และมีความคงทน

6.2 ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลาง

ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำคัญต่อกลไกการเก็บสะสมของตะกอนเซลล์แบคทีเรียให้อยู่ภายในระบบลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลางจะให้ข้อมูลไปสู่การพัฒนาระบบให้ดีขึ้นทางด้านการบำบัดน้ำเสีย และลดต้นทุนของระบบ ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของระบบ และอิทธิพลหน้าที่ของแบคทีเรียที่ระดับความสูงต่างๆ ของถังกรองจะเป็นพื้นฐานในการเลือกตำแหน่งของชั้นตัวกลางในลักษณะที่ให้ผลประโยชน์สูงสุด

ตำแหน่งความสูงต่างๆ ในถังกรองจะมีหน้าที่และอิทธิพลต่อการทำงานของระบบต่างกันไป คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นเฉพาะที่บริเวณก้นถังกรอง ดังนั้น บริเวณนี้จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเกิดขึ้นมาก ส่วนชั้นตัวกลางตอนบนจะมีหน้าที่ในการช่วยดักตะกอนเซลล์ให้อยู่ในระบบไม่หลุดหายไปกับน้ำทิ้ง

จากหลักการดังกล่าวสรุปได้ว่า ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลางมีผลต่อการยืดเกาะของจุลินทรีย์ในระบบ ในการเลือกตำแหน่งของตัวกลางนั้นถ้าจะให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการบำบัดควรเลือกวางตัวกลางบริเวณชั้นตอนบนของระบบลึกลงมาจากผิวน้ำเล็กน้อยเพราะบริเวณนี้เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์จำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณชั้นล่างของระบบ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวัสดุเหลือทิ้งประเภทผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกเป็นตัวกลางซึ่งมีความคงทนทั้งในด้านกายภาพ และชีวภาพ สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก และติดตั้งได้สะดวกในระบบเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียแทนตัวกลางพลาสติกที่มีจำหน่ายกันอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน

7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ

7.1 นิยาม และความหมาย

การเก็บตัวอย่างน้ำ หมายถึง การเก็บตัวอย่างน้ำที่ถูกวิธีในปริมาณที่เหมาะสมต่อการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งนี้ต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากวิธีเก็บ และการขนส่งอีกทั้งสามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีของแหล่งน้ำนั้น (กรมอนามัย. 2537: 35)

7.2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ

เครื่องมือ/อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำอาจทำด้วยพลาสติก เหล็กกล้า ไร้สนิมสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก เครื่องมือที่ใช้ควรทำด้วยพลาสติก และมีส่วนประกอบของโลหะน้อยที่สุดส่วนที่สัมผัสน้ำโดยตรงก็ไม่ควรเป็นโลหะ กระบอกเก็บตัวอย่างและน้ำหนักถ่วงควรหุ้มด้วยพลาสติก สายที่ใช้หย่อนเครื่องมือดังกล่าวควรทำจากพลาสติกหรือลวดที่เคลือบด้วยพลาสติก (กรมอนามัย. 2537: 24)

7.3 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ

7.3.1 วัสดุที่ใช้บรรจุตัวอย่างน้ำควรเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด-ด่าง และมลพิษในตัวอย่างน้ำมีความแข็งแรงทนทาน ไม่เปราะหรือแตกง่าย สามารถล้างทำความสะอาดได้ง่าย มีฝาปิดสนิทโดยทั่วไปนิยมใช้ขวดแก้วหรือพลาสติกอย่างดีที่แข็งและทนความร้อน เช่น โพลีเอทิลีน โพลีโพรไพลีน แต่วัสดุที่ดีที่สุดคือควอตซ์ (Quartz) หรือเทฟลอน (Teflon) แต่ราคาแพง

7.3.2 รูปร่าง และขนาด ควรจะมีขนาดพอเหมาะที่จะบรรจุตัวอย่างน้ำได้เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ไม่ใหญ่เกินไปที่จะถือหรือตักได้สะดวก และควรเป็นรูปทรงที่ไม่มีขอบมุมที่ทำความ สะอาดยาก

7.3.3 สี โดยทั่วไปควรใช้วัสดุที่ไม่มีสีนอกจากในกรณีที่ต้องการสีเข้มเพื่อป้องกันตัวอย่าง น้ำถูกแสงแดดนิยมใช้พลาสติกขาวขุ่นหรือขวดแก้วสีชา (กรมอนามัย. 2537: 25)

7.4 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

การที่จะเก็บตัวอย่างน้ำจำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำ ทั้งหมดได้แบ่งวิธีเก็บน้ำเป็น 2 วิธีคือ

7.4.1 การเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเอาโดยตรงแล้ว นำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบ ดังนั้น ตัวอย่างน้ำจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติของน้ำ ณ จุดเก็บ เฉพาะเวลานั้นเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้มีข้อดีในกรณีที่น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่องมีการ ปลอยทิ้งเป็นครั้งคราว

7.4.2 การเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างหลายๆ ครั้งต่อ ช่วงการผลิตโดยแบ่งแต่ละช่วงระยะเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณการเก็บขึ้นกับอัตราการไหล ของน้ำแล้วนำมารวมลงในถังเก็บใบเดียวกัน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 10 องศาเซลเซียส การเก็บวิธีนี้มีข้อดีตรงที่ลดจำนวนตัวอย่างน้ำที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์ และเวลาในการศึกษา ได้มากแต่ถึงอย่างไรก็มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำนานกว่าวิธีแบบจ้วงในการเก็บตัวอย่าง น้ำเพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างสมบูรณ์ต้องเก็บทั้งแบบจ้วง และแบบผสมรวม (ธงชัย พรพจน์สวัสดิ์ และคณะ. 2525: 7-8)

จากการแบ่งวิธีเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า การเก็บตัวอย่างน้ำต้องเลือกวิธีเก็บที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำทั้งหมดแบ่งออกเป็น การเก็บแบบจ้วงคือเลือกเก็บบริเวณที่ต้องการ ตัวอย่างโดยตรง และการเก็บแบบผสมรวมเป็นการเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างๆ ในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ กันจากนั้นนำมารวมในภาชนะบรรจุเดียวกันเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบต่อไป

7.5 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 35) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ ดังนี้

7.5.1 การวางแผนและความถี่ในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลง ของคุณภาพน้ำ

7.5.2 ตัวอย่างที่เก็บมาควรเก็บรักษาไว้ในที่ที่เหมาะสมและแยกตามประเภทการตรวจวิเคราะห์

7.5.3 ตัวอย่างที่เก็บควรมีปริมาณเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

7.5.4 ตัวอย่างที่เก็บต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรทั้งหมด

7.5.5 ในการเก็บตัวอย่างจะต้องระมัดระวังมิให้เกิดการปนเปื้อน

7.5.6 ตัวอย่างที่ได้ต้องรักษาคุณภาพให้เหมือนเดิมและต้องวิเคราะห์ทันที

7.5.7 ควรบ่งบอกรายละเอียดของตัวอย่าง โดยการปิดฉลากไว้ที่ข้างขวด

7.5.8 การเลือกจุดเก็บควรคำนึงถึงแหล่งน้ำ จุดที่นำน้ำมาใช้ การฆ่าเชื้อในน้ำ การเก็บ และการจ่ายน้ำ ที่เก็บน้ำประจำบ้าน วิธีการนำน้ำมาใช้ เป็นต้น

จากขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มจากวางแผนในการเก็บเพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำทั้งหมด มีปริมาณเพียงพอต่อการตรวจวัด ระมัดระวังไม่ให้เกิดการปนเปื้อนควรศึกษาว่าค่าพารามิเตอร์ใดที่ต้องทำการตรวจวัดทันทีในสถานที่เก็บตัวอย่างเพื่อให้ผลที่ได้จากการตรวจวัดมีความถูกต้องมากที่สุด

7.6 ประเภทของตัวอย่างน้ำ

การเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำที่ต้องการจะศึกษาหรือวิเคราะห์ สามารถแยกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

7.6.1 ตัวอย่างแยก (Catch samples) หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บ ณ เวลาและสถานที่หนึ่งแล้วนำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างๆ ไป ตัวอย่างแยกนี้จะเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำนั้นเฉพาะเวลาและจุดที่เก็บเท่านั้น

7.6.2 ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสิท (Composite samples) หมายถึง ส่วนผสมของตัวอย่างแยกที่ทำการเก็บ ณ จุดเดียวกัน แต่ต่างเวลากัน มีประโยชน์สำหรับการใช้กับงานที่ต้องการทราบความเข้มข้นเฉลี่ย ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบบางอย่างของน้ำ เช่น ก๊าซที่ละลายในน้ำ คลอรีนตกค้าง อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างไว้จึงไม่เหมาะที่จะใช้ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสิท ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสิทใช้เฉพาะการหาค่าส่วนประกอบที่ทราบได้แน่นอนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะของการเก็บและการรักษาตัวอย่างเท่านั้น

7.6.3 ตัวอย่างรวมแบบอินทิเกรท (Integrated samples) หมายถึง ส่วนผสมของตัวอย่างแยกที่เก็บจากจุดต่างๆ กันในเวลาเดียวกันหรือในเวลาใกล้เคียงกันที่สุด ตัวอย่างที่จำเป็นต้องเก็บโดยวิธีนี้ได้แก่ แม่น้ำ และลำธาร ซึ่งคุณภาพน้ำจะแปรผันตามความกว้างและความลึกการเตรียมตัวอย่างรวมแบบอินทิเกรทนี้ต้องการเครื่องมือพิเศษในการเก็บตัวอย่างจากจุดที่ทราบความลึกโดยไม่มีการปนจากน้ำส่วนบน ต้องทราบปริมาตรการเคลื่อนไหว และส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำที่จะทำการเก็บก่อนด้วยวิธีนี้จะยุ่งยากกว่าวิธีอื่น (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525:1-7)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การเลือกวิธีเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งต้องคำนึงถึงเสมอว่าตัวอย่างน้ำนั้นต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรน้ำทั้งหมด

7.7 ช่วงระยะเวลาระหว่างการเก็บวิเคราะห์

ช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่าง สารที่จะวิเคราะห์และวิธีการในการเก็บรักษาเมื่อเก็บตัวอย่างมาแล้วควรทำการวิเคราะห์ให้เร็วที่สุดเพราะยิ่งทิ้งไว้นานส่วนประกอบของตัวอย่างน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำความผิดพลาดข้อนี้อาจลดให้น้อยลงได้โดยเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในที่มืดและอุณหภูมิต่ำประมาณ 4 องศาเซลเซียส จนถึงเวลาที่วิเคราะห์ระยะเวลาที่ยอมให้มากที่สุดที่จะเก็บตัวอย่างไว้ก่อนทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีเป็นดังนี้

น้ำสะอาด (Unpolluted water)	72	ชั่วโมง
น้ำค่อนข้างสกปรก (Slightly polluted water)	48	ชั่วโมง
น้ำสกปรก (Polluted water)	24	ชั่วโมง

ถ้าช่วงเวลานานพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นหรือสภาพทางกายภาพของส่วนประกอบที่จะทำการวิเคราะห์

สรุปได้ว่า ช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำควรทำให้เร็วที่สุดเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของน้ำ เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

7.8 วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาตัวอย่างทำได้ยากสารช่วยรักษาเกือบทุกตัวขัดขวางการหาสารบางตัว ดังนั้น ถ้าเป็นไปได้ควรทำการวิเคราะห์ทันที การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์ในวันถัดมาจัดว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ควรใช้สารเคมีในการเก็บรักษาต่อเมื่อสารนั้นไม่ขัดขวางการวิเคราะห์ และให้เติมลงในขวดตัวอย่างก่อนทำการเก็บเพื่อว่าทุกๆ ส่วนของตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาทันทีที่ทำการเก็บวัตถุประสงค์ในการเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อชะลอปฏิกิริยาทางชีววิทยาชะลอการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารเคมีและสารเชิงซ้อน และเพื่อลดการระเหยตัวของส่วนประกอบของสาร วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างทำได้โดยการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง การเติมสารเคมี การแช่เย็น และการแช่แข็ง

สรุปได้ว่า วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำต้องสามารถลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารเคมีและสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ สามารถทำได้โดยการเติมสารเคมี เก็บในที่อุณหภูมิต่ำ และไม่มีแสงแดด

7.9 ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 30) กล่าวว่า ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ มีดังนี้

7.9.1 ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำควรทำด้วยพลาสติกเพราะขนส่งสะดวก ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นในน้ำ ข้อสำคัญต้องล้างให้สะอาดก่อนใช้ คือล้างด้วยกรดโครมิก น้ำประปา และน้ำกลั่นตามลำดับ ก่อนทำการเก็บให้ล้างด้วยน้ำตัวอย่างที่จะเก็บก่อนสัก 2-3 ครั้ง

7.9.2 เขียนฉลากติดที่ขวดตัวอย่างให้เรียบร้อยก่อน บอกชื่อผู้เก็บ เวลา สถานที่ วันที่เก็บ อุณหภูมิของน้ำ ชนิดของสารช่วยรักษา

7.9.3 ควรวัดอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง แก๊สที่ละลายน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และ ออกซิเจนทันทีที่เก็บเพราะค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

7.9.4 บางกรณีการเก็บตัวอย่างไว้มีผลต่อการวิเคราะห์มาก เช่น ไอออนบวกบางตัวจะสูญเสียไปโดยการดูดซับ (Absorption) หรือโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) กับผิวของภาชนะ ที่ทำด้วยแก้ว ไอออนบวกเหล่านั้นได้แก่ Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ag และ Zn จึงควรทำการเก็บแยกต่างหากโดยใช้ขวดที่สะอาดและทำให้เป็นกรดด้วยกรดเกลือเข้มข้นหรือกรดดินประสิวเข้มข้นจนความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2 เพื่อลดการตกตะกอน และการดูดซับบนผิวภาชนะ

7.9.5 น้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เก็บตัวอย่างน้ำทั้งจากทุกๆ จุดที่ปล่อยน้ำออกมา หรือจุดที่รวมของน้ำทิ้ง

7.9.6 น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากท่อระบายน้ำโสโครก

7.9.7 น้ำทั้งจากระบบกักน้ำเสียให้เก็บจากจุดต่างๆ ตามขั้นตอน

7.9.8 น้ำประปาให้ใช้ทั้งสักครู่ก่อนเก็บ

7.9.9 น้ำบ่อควรเก็บภายหลังจากบ่อนั้นถูกดูน้ำขึ้นระยะหนึ่งแล้ว

7.9.10 แม่น้ำ และลำธารควรเก็บน้ำจากผิวถึงก้นแม่น้ำตรงใจกลางแม่น้ำแล้วเอามารวมกันเป็นตัวอย่างรวมแบบอินทิเกรตถ้าจะเก็บเป็นตัวอย่างให้เก็บจากใจกลางแม่น้ำที่จุดกึ่งกลางของความลึกจึงนับว่าเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุด

7.9.11 น้ำในทะเลสาบ มักมีการแปรผันในคุณภาพทั้งในแนวดิ่ง และแนวนอนแต่ในสภาพทั่วไปแล้วเราไม่สนใจค่ารวมหรือเฉลี่ยของสภาพเหล่านี้ สนใจแต่การเปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดเท่านั้น ดังนั้นจึงควรใช้ตัวอย่างแยกมากกว่า

จากข้อปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำควรคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการเก็บซึ่งตัวอย่างควรเป็นพลาสติกซึ่งจะไม่เกิดปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บวิเคราะห์ โดยเขียนรายละเอียดบนฉลากติดให้เรียบร้อย ควรศึกษารายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดตัวอย่างละเอียดซึ่งค่าแต่ละค่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้เมื่อผ่านไปไประยะเวลาต่างๆ

7.10 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 31) กล่าวว่า ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้น หากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ทันทีแล้ว ส่วนประกอบของตัวอย่างน้ำจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ มลพิษหลายชนิดที่ไม่คงตัวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น แบคทีเรีย ความเป็นกรด-ด่าง

สารประกอบไนโตรเจน สารอินทรีย์ และอื่นๆ เป็นต้น จึงได้มีการศึกษาวิธีการถอนน้ำหรือรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเพื่อลดหรือหยุดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง จำแนกได้ดังนี้

7.10.1 การแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสหรือแช่แข็ง เช่น การตรวจหาปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ชัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น ข้อดีของวิธีการนี้คือไม่มีสารบรบกวนในการวิเคราะห์ผลของการแช่เย็น คือ

7.10.1.1 ลดการทำงานของพวกจุลินทรีย์

7.10.1.2 ลดอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการทางกายภาพ และเคมี

7.10.2 การเติมสารเคมี

7.10.2.1 เติมนิไตรต์ (Biocides) เพื่อยับยั้งการทำงานของพวกจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ เช่น โปรทคลอไรด์ (HgCl_2) เติมนิไตรต์ในปริมาณ 20-40 มิลลิกรัมต่อลิตร

7.10.2.2 เติมกรด เช่น กรดไนตริก (HNO_3), กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นการรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำโดยการควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้น้อยกว่า 2 เพื่อป้องกันการดูดซับไอออนที่ผิวภาชนะบรรจุและการตกตะกอน และยับยั้งการทำงานของพวกจุลินทรีย์

7.10.2.3 สารเคมีเฉพาะข้อมูล สารเคมีอื่นๆ

สรุปได้ว่า หลักการโดยทั่วไปของการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อป้องกัน และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในช่วงเวลาหลังการเก็บและก่อนการตรวจวิเคราะห์เป็นต้นว่าการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง การเติมสารเคมี การแช่เย็น และการแช่แข็ง

7.11 การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ

การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ สามารถกระทำได้ ดังนี้

7.11.1 เพื่อมิให้เกิดความสับสนให้ปิดฉลากที่ภาชนะบรรจุเสมอ แม้จะเก็บเพียงตัวอย่างเดียว

7.11.2 การเขียนรายละเอียดบนฉลากต้องใช้ปากกาถูลูกกลิ้งที่หมึกไม่ละลายน้ำ ไม่ควรใช้ดินสอหรือปากกาหมึกซึม

7.11.3 ฉลากควรมีรายละเอียด ดังนี้

รหัสตัวอย่าง.....
สถานที่เก็บ.....
วันที่เก็บ..... เวลา.....
ชื่อผู้เก็บ.....

7.11.4 กระดาษที่ใช้เขียน (ฉลากที่ปิดภาชนะบรรจุ) ไม่ควรเปียกชุ่มเมื่อถูกน้ำ

7.11.5 ควรปิดฉลากบนขวดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเก็บน้ำ

สรุปได้ว่า การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุเพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นกับตัวอย่างน้ำ จึงควรกรอรายละเอียดในฉลากให้ครบถ้วนตามประเภทของแหล่งน้ำที่เก็บ

7.12 วิธีส่งตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 40) กล่าวว่า วิธีในการส่งน้ำตัวอย่างสามารถทำได้ดังนี้

7.12.1 บรรจุตัวอย่างน้ำทั้งหมดลงในหีบแช่น้ำแข็งพร้อมใบตัวอย่าง หรือตัวอย่างที่ไม่ต้องแช่เย็นก็ให้บรรจุลงในลังหรือหีบ

7.12.2 ปิดผนึกหีบห่อให้หนาแน่นและปิดใบปะหน้าที่มีรายละเอียดแจ้งว่าส่งให้ผู้ใด และให้หน่วยงานใด

จากวิธีในการส่งน้ำตัวอย่างสรุปได้ว่า วิธีส่งตัวอย่างน้ำควรบรรจุในลังหรือสิ่งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้แล้วปิดให้มิดชิด ปิดใบปะหน้าที่มีรายละเอียดแจ้งว่าส่งให้ผู้ใดและให้หน่วยงานใด

8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ตรวจวัด

8.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน [H^+] ในน้ำ โดยการคำนวณจากสูตร

$$pH = - \log [H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ = ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็นโมล/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ในทางปฏิบัติ ค่าความเป็นกรด-ด่างแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสีย น้ำเสียที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่า pH มากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่า pH เท่ากับ 7 (ธงชัย พรพนสวัสด์ และคณะ. 2525: 36)

วิธีการตรวจวัดอาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับงบประมาณ ความถูกต้องแม่นยำ และความละเอียดของการใช้งานเริ่มตั้งแต่วิธีง่ายๆ โดยการเปรียบเทียบสี (Colormetric method) จนถึงการตรวจวัดด้วยอิเล็กโทรด (Electrometric method) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่อาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยวิธีตรวจวัดด้วยอิเล็กโทรด คือพีเอชมิเตอร์ (pH meter) (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

8.2 ค่าบีโอดี หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเป็นค่าที่

ใช้บอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวะได้ กรณีนำมาใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องระวังเพราะอาจมีสารบางชนิดที่สามารถยับยั้งการทดลองได้ เช่น สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย แม้ว่าค่าบีโอดีจะสามารถตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่การใช้ค่านี้ในการติดตามตรวจสอบการทำงานของระบบได้ไม่ดีเนื่องจากต้องใช้เวลารอถึง 5 วัน ตามปกติจะต้องใช้เวลา 20 วัน เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งสามารถย่อยได้ร้อยละ 95-99 เป็นผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะย่อยสลายได้ร้อยละ 75-80 ของค่าบีโอดีทั้งหมด (อาจหาญ กันนูลา. 2545: 10; อ้างอิงจาก บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน์. 2528: 176-182)

วิธีการตรวจวัดค่าบีโอดีสามารถทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะประกอบด้วยหลายขั้นตอนตั้งแต่การเตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง วิธีการเจือจาง การทำแบลนด์ (Blank) เพื่อเปรียบเทียบให้ทราบว่าค่าบีโอดีที่หาได้มีความเชื่อถือได้แค่ไหน หลักการของวิธีตรวจวัดแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ คือ

8.2.1 การตรวจวัดโดยตรง (Direct method) ได้แก่ การนำน้ำเสียมาตรวจวัดตามขั้นตอนโดยตรงไม่ทำการเจือจาง โดยทั่วไปใช้กับน้ำที่พิจารณาแล้วเห็นว่ามี ความสกปรกน้อย

8.2.2 การตรวจวัดโดยการเจือจาง (Dilution method) เป็นวิธีที่ต้องเตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง เพื่อทำการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนที่จะทำการตรวจวัดตามขั้นตอน เนื่องจากน้ำมีความสกปรกสูงหากไม่ทำการเจือจางลงปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำจะไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดค่าที่แท้จริงได้ (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าบีโอดีด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide modification method) คือวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

8.3 ค่าซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ค่าซีโอดี สูงกว่าค่าบีโอดีและสูงมากเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีววิทยา ดังนั้น ข้อเสียของค่าซีโอดีคือไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีววิทยาและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีววิทยาได้ส่วนข้อดี คือใช้เวลาวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง ความสำคัญและประโยชน์ของค่าซีโอดี คือใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการควบคุมระบบบำบัดเนื่องจากการวิเคราะห์ซีโอดี ใช้เวลาสั้นสามารถนำมาปรับปรุงกระบวนการได้ในระยะเวลาอันสั้น (อาจหาญ กันนูลา. 2545: 10; อ้างอิงจาก บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน์. 2528: 176-182)

วิธีการตรวจวัดค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยดูน้ำตัวอย่างใส่ในหลอดแก้วเพาะเชื้อ (Culture tube) จากนั้นเติมโปตัสเซียมไดโครเมต และตามด้วยกรดซัลฟิวริกปิดฝาหลอดให้แน่นแล้วเขย่าให้สาร

ผสมกันให้ดี วางหลอดแก้วในบล็อคลแล้วทำการอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเทสารละลายออกจากหลอดลงในขวดรูปกรวยแล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย หยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) ทำการไตเตรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตมาตรฐานจนถึงจุดยุติจุดปริมาตรไว้ ทำแบลนด์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างแล้วทำตามวิธีเดียวกัน (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าซีไอดีด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาแบบปิด (Closed reflux) (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

8.4 ค่าน้ำมันและไขมัน หมายถึง สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้ง จนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น สารประกอบเหล่านี้เมื่อปนกับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

วิธีการตรวจวัดค่าน้ำมันและไขมันสามารถทำได้โดยปรับสภาพของเหลวที่เป็นกรดเพื่อให้ไขมันแตกตัวจากน้ำและทำให้แยกจากน้ำโดยการกรองโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายจากนั้นจึงนำเฮกเซนที่มีน้ำมันและไขมันละลายอยู่ไประเหยจนแห้ง ซึ่งน้ำหนักตะกอนที่เหลือซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำมันและไขมันในตัวอย่าง (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538: 133-134)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าไขมันและน้ำมันด้วยวิธีวิธีการสกัดไขมันและน้ำมันด้วยกรวยแยก (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538: 133-134)

8.5 ค่าของแข็งแขวนลอย หมายถึง สารแขวนลอยในของเหลวซึ่งมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย และเป็นค่าหนึ่งที่บอกถึงความสกปรกในน้ำเสียตลอดจนบอกถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ การหาค่าของแข็งแขวนลอยจึงมีความสำคัญเท่ากับค่าบีโอดี (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

วิธีการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยสามารถทำได้โดยเตรียมกระดาศกรองใยแก้วมาตรฐาน วางแผ่นกระดาศกรองบนถ้วยกรอง เปิดเครื่องดูดสุญญากาศและล้างแผ่นกระดาศกรองติดต่อกัน 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบแห้งและชั่งน้ำหนัก (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยด้วยวิธีการกรองผ่านกระดาศกรองใยแก้วมาตรฐาน (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรสถานศึกษา

สถานศึกษาเป็นแหล่งของการแสวงหาความรู้ ซึ่งภายใต้เงื่อนไขพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ให้คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานกำหนดหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานเพื่อความเป็นไทย ความเป็นพลเมืองที่ดีของชาติ การดำรงชีวิต และการประกอบอาชีพ ตลอดจนเพื่อการศึกษาต่อ ให้สถานศึกษามีหน้าที่จัดทำหลักสูตรตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาในชุมชน ภูมิปัญญาท้องถิ่น คุณลักษณะอันพึงประสงค์เพื่อเป็นสมาชิกที่ดีของครอบครัว ชุมชน สังคม และประเทศชาติ (กระทรวงศึกษาธิการ. 2542: 13)

หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2544 ได้กำหนดสาระการเรียนรู้เป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ ภาษาไทย คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สังคมศึกษา ศาสนาและวัฒนธรรม สุขศึกษาและพลศึกษา ศิลปะ การงานอาชีพและเทคโนโลยี และภาษาต่างประเทศ (กระทรวงศึกษาธิการ. 2544: 12) ในส่วนของสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ได้กำหนดสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ออกเป็น 8 สาระ ซึ่งสาระที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้คือ สาระที่ 2 คือ ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ตรงกับมาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก นำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

โรงเรียนเซนต์ดอมินิกได้ปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 คือมีการจัดทำหลักสูตรเป็นของตนเองได้แก่ หลักสูตรสถานศึกษาซึ่งประกอบด้วยการเรียนรู้ทั้งหมด และประสบการณ์อื่นๆ ที่วางแผนเพื่อมุ่งผลิตนักเรียนให้เป็นเลิศทางวิชาการและเทคโนโลยีเป็นคนดีมีคุณธรรม ดำรงชีวิตกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดี และมีความสุขพร้อมที่จะช่วยพัฒนาสังคม และประเทศชาติ ซึ่งใช้มาตั้งแต่พุทธศักราช 2544 และจะมีการปรับปรุงแก้ไขทุกๆ ระยะเวลา 5 ปี เพื่อสนองต่อความต้องการผู้เรียน ชุมชน และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ในกระบวนการดังกล่าว

ผลการใช้หลักสูตรสถานศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ยังมีนักเรียนบางส่วนมีผลการเรียนรู้ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์อันไม่พึงประสงค์ซึ่งอาจเป็นเพราะว่านักเรียนขาดความสนใจ ขาดกระบวนการฝึกปฏิบัติตลอดจนรูปแบบการจัดการเรียนการสอนของครูผู้สอนไม่กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความตื่นตัว และสนใจในการเรียนเท่าที่ควรจนส่งผลให้ผลการเรียนรู้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของหลักสูตรสถานศึกษาที่กำหนดไว้ ซึ่งแนวทางแก้ไขผู้วิจัยเห็นว่าควรนำนวัตกรรมการเรียนการสอนที่ช่วยพัฒนาและเสริมสร้างความสามารถด้านการคิด ทักษะกระบวนการ การตัดสินใจ การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง และมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างแท้จริงซึ่งการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการสามารถแก้ไขเกณฑ์อันไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นได้

10. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน

นวัตกรรมการสอน หมายถึง อุปกรณ์และวิธีการใหม่ๆ ที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง การเรียนการสอนที่ทำอยู่เดิมเพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น (กองวิชาการศึกษา กรมวิชาการ. 2535: 5)

10.1 ประโยชน์ของนวัตกรรมการเรียนการสอน

10.1.1 ช่วยพัฒนาบุคคลให้มีความรู้ความสามารถในด้านต่างๆ คือความรู้ ความคิด ทักษะ และเจตคติในการสอนวิชาต่างๆ เช่น

10.1.1.1 ทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

10.1.1.2 ทำให้นักเรียนมีทักษะทางการเรียน

10.1.1.3 ทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียน

10.1.2 ช่วยพัฒนาการเรียนการสอน ทำให้การศึกษาก้าวหน้า ทันสมัย เหมาะสมและ สอดคล้องกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและสังคมปัจจุบัน

10.1.3 ช่วยลดปัญหาในการเรียนการสอนลงได้ เช่น

10.1.3.1 ลดเวลาสอน

10.1.3.2 แบ่งเบาภาระหน้าที่ของครู

10.1.3.3 แก้ปัญหาครูไม่เพียงพอ

10.1.3.4 แก้ปัญหาการขาดแคลนครูบางวิชาที่ด้อยใช้ทักษะความสามารถพิเศษ

10.1.3.5 ช่วยให้เกิดความชัดเจนและถูกต้องในเนื้อหาวิชา

10.1.3.6 ทำให้ประหยัดแรงงาน และค่าใช้จ่าย

10.1.3.7 แก้ปัญหาพฤติกรรมนักเรียนอันไม่พึงประสงค์ และช่วยสร้างบรรยากาศในการเรียน (กองวิชาการศึกษา กรมวิชาการ. 2535: 5-6)

สรุปได้ว่า ประโยชน์ของนวัตกรรมการเรียนการสอนช่วยพัฒนาการสอนให้มีประสิทธิภาพ ลดปัญหาในการเรียนการสอน มีความทันสมัย ช่วยเสริมสร้างความสามารถในด้านทักษะกระบวนการ ความคิด การตัดสินใจ การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาที่สอน

10.2 กระบวนการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน

กระบวนการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

10.2.1 ศึกษาสภาพปัญหาทั้งเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพเพื่อหาลักษณะของปัญหาและ นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาหรือเปรียบเทียบผลของการใช้นวัตกรรมทางการศึกษาใน ภายหลัง

10.2.2 ออกแบบนวัตกรรม ในด้านต่อไปนี้

10.2.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ เช่น นวัตกรรมนี้ควรประกอบด้วยคู่มือครู กิจกรรม และสื่อ เครื่องมือวัดพฤติกรรม แบบทดสอบ เป็นต้น

10.2.2.2 ลักษณะของนวัตกรรม เช่น บอกที่มาของแนวคิด/ทฤษฎีที่นำมาพัฒนาบอกถึง ลักษณะของนวัตกรรม สื่อ และเครื่องมือที่ใช้ เป็นต้น

10.2.2.3 ลักษณะการนำไปใช้ เช่น มีการอบรมครู มีการวัดหรือทดสอบนักเรียนก่อน และหลังการใช้ ช่วงเวลาการใช้ เป็นต้น

10.2.3 สร้างหรือพัฒนานวัตกรรม ตามแนวหรือกรอบของรูปแบบนวัตกรรมที่กำหนดไว้

10.2.4 การทดลอง แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

10.2.4.1 นำนวัตกรรมไปทดลองใช้ (Try-out) กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเพื่อตรวจสอบ คุณภาพของตัวนวัตกรรมเอง และเพื่อการปรับปรุงในแต่ละส่วน เช่น ภาษา ลำดับขั้นตอนของเนื้อหาวิชา ความเป็นไปได้ของกระบวนการ ความถูกต้องของเนื้อเรื่อง ความเหมาะสมกับสถานการณ์จริง

10.2.4.2 นำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในสถานการณ์จริง เป็นการทดลองเพื่อ หาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของนวัตกรรมนั้น

10.2.5 ประเมินผล ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเทคนิควิธีเดียวกันกับการศึกษาสภาพ ปัญหา การเก็บข้อมูลควรทำเป็นระยะๆ ในระหว่างการทดลอง เมื่อจบสิ้นการทดลองแล้ว ข้อมูลที่ได้นี้จะ นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานก่อนการใช้นวัตกรรมเพื่อเป็นข้อสรุปและยืนยันประสิทธิภาพของ นวัตกรรมนั้น ถ้าผลการทดลองสามารถลดหรือแก้ไขปัญหาได้ก็แสดงว่านวัตกรรมนั้นมีคุณค่าและ นำไปขยายผลได้โดยเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ต่อไป (กองวิชาการศึกษา กรมวิชาการ. 2535: 6-7)

11. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการ หมายถึง เอกสารที่กำหนดแนวทางในการทำการทดลองสำหรับนักเรียน ประกอบด้วยข้อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ อุปกรณ์ และสารเคมี วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง คำถามท้ายการทดลอง (สุรพล วิหคไพบูลย์. 2543: 4)

บทปฏิบัติการ หมายถึง ชุดกิจกรรมการเรียนการสอนที่จัดขึ้นโดยเน้นการทดลองเพื่อให้นักเรียน ได้ฝึกทักษะการปฏิบัติและค้นคว้าด้วยตนเองโดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ (พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. 2544: 18)

บทปฏิบัติการ หมายถึง กิจกรรมหรือการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ ความรู้จากการได้ทดลองด้วยตนเองโดยมีครูเป็นเพียงผู้ให้คำแนะนำ พร้อมทั้งมุ่งให้ผู้เรียนเกิด ความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการทดลอง การนำความรู้

และความสามารถที่เกิดขึ้นไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและท้องถิ่นได้ (พรทิพย์ วงษ์นาป่า. 2548: 48)

บทปฏิบัติการ หมายถึง ชุดกิจกรรมที่เน้นการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองโดยมีครูเป็นผู้แนะนำอย่างใกล้ชิด (จำรัส อินทลาภาพร. 2545: 40)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการ หมายถึง นวัตกรรมด้านการเรียนการสอนที่สร้างขึ้นว่าด้วยทฤษฎีปรัชญาการศึกษาตามแนวคิดพัฒนานิยม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 9 ด้าน ได้แก่ ชื่อบทปฏิบัติการ ใ้ความรู้ประกอบบทปฏิบัติการ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ อุปกรณ์ และสารเคมี วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ซึ่งมีศักยภาพในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

11.1 ข้อคำนึงในการเขียนบทปฏิบัติการ

การเขียนบทปฏิบัติการเป็นเรื่องละเอียดอ่อน มีหลายสิ่งหลายอย่างที่คุณเขียนจะต้องนำมาเป็นแนวทางในการเขียน ดังนั้น ผู้ที่จะทำหน้าที่ในการเขียนบทปฏิบัติการจึงต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ สถานที่ และระดับของผู้เรียน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

11.1.1 จุดประสงค์ ผู้เขียนบทปฏิบัติการควรจะต้องตั้งคำถามถามตัวเองก่อนว่าบทปฏิบัติการฉบับนี้จะนำไปศึกษาอะไร ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในทางด้านใด นั่นคือผู้เขียนต้องกำหนดจุดประสงค์ให้ชัดเจนเพราะว่าบทปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์ต่างกันย่อมมีลักษณะที่แตกต่างกันด้วย

11.1.2 สถานที่ใช้เป็นแหล่งศึกษา เนื่องจากแต่ละสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นบทปฏิบัติการที่จะนำไปศึกษาแต่ละสถานที่ย่อมมีความแตกต่างกันด้วย

11.1.3 ระดับของผู้เรียน บทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนแต่ละระดับควรมีความแตกต่างกันทั้งด้านความยากง่ายในเนื้อหา ภาษา ทักษะ ตลอดจนคำถามที่ใช้ (ลัดดาวัลย์ กัณหาสุวรรณ. 2535: 30-31)

สรุปได้ว่า การเขียนบทปฏิบัติการต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการว่านำไปศึกษากับผู้เรียนระดับใด ต้องการให้เกิดพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านใดตลอดจนระบุสถานที่ที่ใช้เป็นแหล่งศึกษาเพื่อความชัดเจนในการเขียนบทปฏิบัติการ

11.2 องค์ประกอบของบทปฏิบัติการ

11.2.1 ชื่อบทปฏิบัติการ ต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของกิจกรรมที่ต้องการเป็นอย่างไร

11.2.2 ใ้ความรู้ ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด และต้องสอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

11.2.3 หลักการ ต้องสอดคล้องกับบทปฏิบัติการ และเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

11.2.4 จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้ วัดได้ เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง

11.2.5 เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่กำหนด

11.2.6 อุปกรณ์และสารเคมี ต้องเหมาะสมกับระดับนักเรียน และเรื่องที่ทำการทดลอง

11.2.7 วิธีการทดลอง ต้องเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ เรียงลำดับกิจกรรมได้เหมาะสม มีความยากง่ายพอเหมาะ ภาษาชัดเจนก่อให้เกิดความคิดรวบยอด ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น มีส่วนร่วมในกิจกรรม และส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง

11.2.8 แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอนสอดคล้องกับเนื้อหาวิชา และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน

11.2.9 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับการทดลอง และจุดประสงค์ จำนวนข้อความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการนำไปใช้ (สุรพล วิหคไพฑูรย์. 2543: ภาคผนวก)

จากการแบ่งองค์ประกอบของบทปฏิบัติการสรุปได้ว่า องค์ประกอบของบทปฏิบัติการประกอบด้วยชื่อบทปฏิบัติการ ใ้ความรู้ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ อุปกรณ์และสารเคมี วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

11.3 ขั้นตอนในการเขียนบทปฏิบัติการ

ลัดดาวัลย์ กัณหาสุวรรณ (2535: 31) กล่าวว่าขั้นตอนในการเขียนบทปฏิบัติการมี ดังนี้

11.3.1 กำหนดจุดประสงค์ทั่วไปซึ่งเป็นจุดประสงค์กว้างๆ ของกิจกรรมทั้งหมดในบทปฏิบัติการ

11.3.2 ศึกษาสำรวจสถานที่หรือแหล่งที่จะนำนักเรียนไปศึกษาโดยสำรวจสภาพทั่วไปว่ามีสิ่งใดที่น่าสนใจ สมควรที่จะทำการศึกษา

11.3.3 กำหนดจุดประสงค์เฉพาะโดยกำหนดเป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมใน 3 ด้าน คือ ด้านความรู้ความเข้าใจ ด้านทักษะ และด้านเจตคติ จุดประสงค์เฉพาะนี้จะกำหนดได้ต่อเมื่อทราบว่าจุดศึกษาแต่ละจุดมีอะไรที่น่าจะศึกษาได้บ้าง

11.3.4 กำหนดกิจกรรมซึ่งควรสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากนั้นให้จัดลำดับกิจกรรมว่ากิจกรรมใดควรจะศึกษาก่อนหลัง

11.3.5 ลงมือร่างบทปฏิบัติการ

11.3.6 นำบทปฏิบัติการฉบับร่างไปทดลองสอนกับนักเรียนเพื่อหาความเป็นไปได้ และข้อบกพร่อง เพื่อนำมาทำการปรับปรุง

11.3.7 แก้ไขปรับปรุง เป็นฉบับที่สมบูรณ์ให้สามารถนำไปใช้ได้

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ขั้นตอนการเขียนบทปฏิบัติการควรกำหนดจุดประสงค์กว้างๆ ของกิจกรรมทั้งหมดในบทปฏิบัติการ ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเพื่อกำหนดจุดประสงค์และกิจกรรม จากนั้นลงมือร่างบทปฏิบัติการนำไปทดลองสอนกับนักเรียนเก่ง ปานกลาง และอ่อน เพื่อหาข้อบกพร่อง และนำไปปรับปรุงแก้ไขให้เป็นฉบับที่สมบูรณ์ต่อไป

11.4 ลักษณะของบทปฏิบัติการ

ลัดดาวัลย์ กัณหสุวรรณ (2535: 32) กล่าวว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นต้องให้นักเรียนทุกคนสามารถเรียนได้ และต้องให้ผู้เรียนมีความรู้สึกรู้ว่าเป็นเรื่องสนุก ง่าย ตื่นเต้น และน่าสนใจ ดังนั้นบทปฏิบัติการจึงต้องมีลักษณะเฉพาะของตัวเองของตัวเอง ดังนี้

11.4.1 บทปฏิบัติการจะมีลักษณะที่ให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเองจะเน้นให้นักเรียนค้นคว้าหาคำตอบด้วยตนเองโดยบทปฏิบัติการจะมีคำถามที่ชี้แนะให้สังเกต ให้แปลความหมาย และลงข้อสรุป นักเรียนจะค้นพบแนวคิดจากการศึกษาและการอภิปรายหลังปฏิบัติการ

11.4.2 นักเรียนจะได้ฝึกขบปัญหาและแก้ปัญหาโดยกิจกรรมบางตอนจะเริ่มต้นด้วยปัญหา นักเรียนจะต้องค้นคิด และสำรวจหาสาเหตุของปัญหาเหล่านั้นเพื่อหาทางแก้ไข

11.4.3 กิจกรรมในบทปฏิบัติการ เน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยประสาทสัมผัสซึ่งเป็นวิธีการที่จะนำไปสู่ความเข้าใจ ชาบซึ่งในธรรมชาติ เกิดจิตสำนึกและค่านิยมในการมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ

11.4.4 ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการ พยายามใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายและพยายามหลีกเลี่ยงคำศัพท์ต่างๆ ที่เข้าใจยากเพื่อต้องการให้ผู้เรียนรู้สึกว่าคุณสามารถเรียนจากบทปฏิบัติการนี้ได้ไม่ใช่เฉพาะนักเรียนที่เรียนเก่งเท่านั้น

11.4.5 กิจกรรมที่กำหนดไว้ในบทปฏิบัติการพยายามให้นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้เกิดความรู้และความเข้าใจ เช่น ทักษะการสังเกต การจำแนกประเภท การตั้งสมมติฐาน การบันทึกข้อมูล การสื่อความหมายและจัดกระทำข้อมูล การแปลความหมายข้อมูล เป็นต้น

11.4.6 กิจกรรมหลังจากปฏิบัติการ นักเรียนจะได้รับการฝึกให้รู้จักวางแผนในการแก้ปัญหา ฝึกตัดสินใจปัญหา และฝึกจัดการกับสิ่งแวดล้อม

11.4.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ พยายามใช้อุปกรณ์ที่หาง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อนในการใช้

สรุปได้ว่า ลักษณะของบทปฏิบัติการต้องเน้นให้ผู้เรียนค้นคว้าหาคำตอบได้ด้วยตัวเอง ผ่านประสาทสัมผัสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาโดยใช้อุปกรณ์ที่หาง่าย ไม่ซับซ้อน ผ่านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อเกิดความรู้ ความเข้าใจ จิตสำนึก และค่านิยมในการมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

11.5 จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ

จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเพื่อเสริมสร้างให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ ปลูกฝังให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เจตคติ ความพึงพอใจ ความมีใจกว้าง ความอยากรู้อยากเห็นในวิชาวิทยาศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์ และพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ความสามารถในการแก้ปัญหา ความสามารถทางสติปัญญาตลอดจนความสามารถทางการปฏิบัติ (ถนอรรถ ใสมน้อย. 2548: 17; อ้างอิงจาก Hofstein and Lunetta. 1982: 203; อ้างอิงจาก Anerson. 1976: 60-79) นอกจากจุดมุ่งหมายดังกล่าวข้างต้นแล้ว ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2523: 96-97) กล่าวว่า การเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการยังมีจุดมุ่งหมายในรายละเอียดอีก ดังนี้

11.5.1 ให้นักเรียนรู้จักและคุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญ

11.5.2 ให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยกับการวางแผนเตรียมการทดลองและใช้เครื่องมือปฏิบัติการ และฝึกปฏิบัติต่างๆ

11.5.3 เพื่อฝึกฝนและพัฒนาความสามารถในการสังเกต รวบรวมและตีความข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากห้องปฏิบัติการหรือการฝึกปฏิบัติต่างๆ

11.5.4 เพื่อฝึกฝนและพัฒนาความสามารถในการเสนอรายงานผลการฝึกปฏิบัติที่ดีและมีความเหมาะสม

11.5.5 เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการที่จะรวบรวมและสัมพันธ์แนวคิดหลักการ และความรู้ต่างๆ เข้าด้วยกัน

11.5.6 เพื่อประยุกต์หลักการทั่วไปเข้ากับสถานการณ์จริงในห้องทดลองหรือในการปฏิบัติภาคสนามอื่นๆ

11.5.7 เพื่อให้เห็นปัญหาและพิจารณาถึงทางเลือกในการดำเนินงานปฏิบัติสิ่งต่างๆ

11.5.8 เพื่อให้รู้จักวิเคราะห์ผลของการฝึกต่อสมมติฐานที่ตั้งไว้ และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับการปฏิบัติจริงในชีวิตประจำวัน

จากจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการสรุปได้ว่า จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเพื่อมุ่งพัฒนาและส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้ ความสามารถเกี่ยวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เจตคติ ความพึงพอใจ ความอยากรู้อยากเห็นในธรรมชาติของทฤษฎี และสามารถนำความรู้และทักษะต่างๆ ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

11.6 รูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการ

รูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัตินั้น โดยทั่วไปสามารถจัดได้เป็น 2 แบบ คือ

11.6.1 การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured laboratory) การทดลองแบบนี้ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา บอกวิธีการแก้ปัญหา และอื่นๆ ไว้เสร็จ นักเรียนเพียงแต่ทำตามคำสั่งในคู่มือการทดลอง

11.6.2 การทดลองแบบไม่กำหนดทิศทาง (Unstructured laboratory) การทดลองแบบนี้ นักเรียนเป็นผู้ค้นหาคำตอบโดยครูกำหนดปัญหาให้ เมื่อได้แนวทางแล้วจึงแยกย้ายกันทำการทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาอภิปรายหน้าชั้นอีกครั้งหนึ่ง การทดลองแบบนี้เป็นการส่งเสริมสมรรถภาพทางด้าน ความคิดควรให้นักเรียนวางแผนการทดลองก่อนแล้วจึงลงมือทดลองตามแผนที่กำหนดไว้ การวางแผน การทดลองครูอยู่ในฐานะพี่เลี้ยงซึ่งการวางแผนการทดลองประกอบด้วย การกำหนดปัญหา การตั้งสมมติฐาน และการสร้างแบบการทดลอง

การจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 แบบที่กล่าวมามีความแตกต่างกันคือ การทดลองแบบสำเร็จรูปนักเรียนจะได้รับคำแนะนำหรือบอกให้ทราบถึงวิธีปฏิบัติการทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล และการจัดกระทำข้อมูล ส่วนการทดลองแบบไม่กำหนดทิศทางนักเรียนจะได้รับคำแนะนำเพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่ได้รับคำแนะนำเลย นักเรียนจะมีอิสระที่จะศึกษาปัญหาที่กำหนดให้หรือปัญหาที่นักเรียนมีความสนใจตามแนวทางของตนเอง การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนของประเทศไทยซึ่งใช้หลักสูตรของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นมีการกำหนดวิธีการปฏิบัติการทดลองมาให้นักเรียนจึงจัดว่าเป็นการจัดการเรียนการสอนด้วยปฏิบัติการแบบสำเร็จรูป (สุวัฒน์ นิยมคำ. 2517: 142-144)

จากรูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการสรุปได้ว่า รูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการแบบสำเร็จรูป ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา และวิธีการไว้ล่วงหน้า ส่วนรูปแบบของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการแบบไม่กำหนดทิศทางนักเรียนจะมีอิสระในการศึกษาตามแนวความคิดของตนเองโดยครูจะทำหน้าที่เป็นผู้กำหนดปัญหา นักเรียนจะมีหน้าที่วางแผน และลงมือปฏิบัติตามแผนที่ได้วางไว้

11.7 ขั้นตอนในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ

สมจิต สวธน์ไพบูลย์ (2541: 61) กล่าวว่า การเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการควรมีลำดับขั้นตอนในการสอน ดังนี้

11.7.1 ขั้นเตรียมการ ครูและนักเรียนร่วมกันพิจารณาถึงหัวข้อที่จะทำการทดลอง การจัดแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มๆ อธิบายถึงระเบียบในการปฏิบัติการทดลองให้นักเรียนอ่านสมุดปฏิบัติการมาล่วงหน้า อธิบายให้นักเรียนรู้จักอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ ครูควรให้คำแนะนำเพราะสารบางอย่างอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ในขั้นเตรียมการนี้เป็นขั้นที่จะพัฒนา

ความคิดของนักเรียนได้เป็นอย่างดีครูควรระลึกเสมอว่าสิ่งที่ทดลองพยายามให้เกิดความต้องการของนักเรียนโดยตรงจะเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนดำเนินการทดลองในขั้นต่อไป

11.7.2 ขั้นดำเนินการทดลอง นักเรียนลงมือปฏิบัติการทดลองตามที่ได้เตรียมการไว้โดยครูคอยดูแลอย่างใกล้ชิด และพยายามให้นักเรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมอย่างทั่วถึง

11.7.3 ขั้นสรุปและประเมินผลการทดลอง ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปผลการทดลอง โดยให้นักเรียนนำข้อมูลที่บันทึกได้รายงานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มรวมถึงการรายงานการทดลองของตน ครูเพิ่มเติมหรือแนะนำในสิ่งที่ยังบกพร่องรวมถึงร่วมกันประเมินวิธีการทำงานร่วมกัน การเก็บเครื่องมือ ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง

จากขั้นตอนในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการสรุปได้ว่า ขั้นตอนในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการประกอบด้วยขั้นเตรียมการ เป็นขั้นเตรียมความพร้อมก่อนทำการทดลองโดยการอธิบายรายละเอียดของการทดลองโดยครู ขั้นที่สองคือขั้นดำเนินการทดลองเป็นขั้นที่นักเรียนลงมือปฏิบัติภายใต้การดูแลของครูอย่างใกล้ชิด และขั้นสุดท้ายคือขั้นสรุปและประเมินผลการทดลอง เป็นการอภิปรายและสรุปผลที่ได้จากการทดลองระหว่างนักเรียนและครู

11.8 บทบาทของครูในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ

ประวิตร ชูศิลป์ (2524: 5-6) กล่าวว่าครูจะทำหน้าที่ในการให้คำแนะนำต่างๆ คอยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็นเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถใช้ข้อมูลหรือผลการทดลองที่รวบรวมได้สรุปเป็นเกณฑ์ ทฤษฎี และหลักการต่างๆ ตั้งแต่ขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง ขั้นทำการทดลอง ขั้นอภิปรายหลังการทดลอง คือ

ตอนที่ 1 การอภิปรายก่อนการทดลอง (Pre lab discussion) ครูต้องเตรียมคำถามต่างๆ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็น คิด สงสัย หรือแนะแนวทางเพื่อให้นักเรียนได้สืบเสาะหาต่อไปตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ

ตอนที่ 2 การให้นักเรียนปฏิบัติการทดลอง (Experiment discussion) ครูจะต้องคอยดูแลให้คำแนะนำต่างๆ อย่างใกล้ชิด คอยกระตุ้น สนับสนุน และเป็นที่ปรึกษาอยู่ด้วยไม่ปล่อยให้ นักเรียนปฏิบัติการทดลองตามลำพัง

ตอนที่ 3 การอภิปรายการทดลอง (Post lab discussion) ครูจะต้องเตรียมคำถามต่างๆ เพื่อที่จะให้นักเรียนสามารถใช้ข้อมูลหรือผลการทดลองที่รวบรวมได้สรุปเป็นเกณฑ์ ทฤษฎี หรือหลักการต่างๆ รวมทั้งอภิปรายถึงข้อผิดพลาดของการทดลองที่อาจเป็นไปได้

สรุปได้ว่า บทบาทของครูในการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการจะต้องทำหน้าที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และดูแลนักเรียนตั้งแต่ก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และอภิปรายผลการทดลองเพื่อ กระตุ้นให้นักเรียนรวบรวมผลการทดลองและนำไปสรุปเป็นเกณฑ์ ทฤษฎี และหลักการต่างๆ เพื่อให้ เกิดองค์ความรู้ในเนื้อหาวิชา รวมทั้งเป็นการชี้ถึงข้อผิดพลาดจากการทำการทดลอง

11.9 ประโยชน์ของการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ

บุญชม ศรีสะอาด (2528: 278-279) กล่าวว่า ประโยชน์ของการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ มีดังนี้

11.9.1 ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือและสอนแก่นักเรียนที่ต้องการความช่วยเหลือ

11.9.2 การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการสามารถจัดให้กับนักเรียนเป็น รายบุคคลหรือรายกลุ่มได้

11.9.3 ผู้เรียนสามารถศึกษากิจกรรม วิธีปฏิบัติจากสื่อที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

11.9.4 เป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา

11.9.5 ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุปครอบคลุม และการใช้การสรุปครอบคลุมใน สถานการณ์ใหม่

11.9.6 ส่งเสริมให้ผู้เรียนเพิ่มพูนความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีทักษะมากขึ้น

11.9.7 ช่วยพัฒนาเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ประโยชน์ของบทปฏิบัติการเป็นการสร้างองค์ความรู้จากรูปธรรม ส่งผลให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการฝึกปฏิบัติ รู้จักแก้ปัญหา ทำงานเป็นทีม และเพิ่มพูน ความสามารถด้านทักษะกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

11.10 ทฤษฎีทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

ทฤษฎีทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย คือ ทฤษฎีปรัชญาการศึกษาตามแนวคิดพิพัฒน์นิยม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

11.10.1 แนวคิดทางการศึกษาแบบพิพัฒน์นิยม

11.10.1.1 การศึกษาคือชีวิตไม่ใช่เป็นการเตรียมเพื่อการดำรงชีวิต การดำรงชีวิตอย่าง ฉลาดนั้นต้องเกี่ยวข้องกับการแปลความหมายและการสร้างประสบการณ์ ฉะนั้น โรงเรียนควรจัด สถานการณ์ทางการเรียนให้เหมาะสมแก่วัยของผู้เรียนเป็นการให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ที่จะต้อง ประสบเมื่อเติบโตเป็นผู้ใหญ่

11.10.1.2 การเรียนควรจะเรียนในสิ่งที่มีความสัมพันธ์กับความสนใจของผู้เรียนใน การนี้ถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด การจัดการเรียนการสอนควรยึดถือเด็กเป็นศูนย์กลาง

11.10.1.3 การเรียนโดยวิธีแก้ปัญหาสำคัญกว่าการจำเนื้อหา การเรียนไม่ใช่การรับความรู้ซึ่งเป็นนามธรรมที่ผู้สอนเป็นผู้ให้ความรู้เท่านั้นเป็นแต่เพียงเครื่องมือในการหาประสบการณ์ของผู้เรียนเท่านั้น เพื่อควบคุมสถานการณ์ต่างๆ ที่ต้องเผชิญ ฉะนั้น ประสบการณ์และวิธีการแก้ปัญหาจึงเป็นวิธีการเรียนรู้ที่สำคัญ

11.10.1.4 ควรส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักร่วมมือกันไม่ใช่ให้มีการแข่งขัน นักการศึกษาฝ่ายพัฒนาการเชื่อว่าความรัก การพึ่งพาอาศัยกันน่าจะเป็นสิ่งที่เหมาะสมกว่าการแข่งขันเพื่อให้ได้มาซึ่งประโยชน์ส่วนตน ดังนั้น การศึกษาในฐานะที่เป็นตัวกลางสร้างประสบการณ์จึงจำเป็นต้องทำหน้าที่สร้างสรรค์ธรรมชาติของมนุษย์ให้อยู่ในสังคมอย่างเป็นสุขด้วย แต่ไม่ได้หมายความว่าปฏิเสธการแข่งขันว่าไม่มีคุณประโยชน์เสียทีเดียวแต่การแข่งขันนั้นควรจะเป็นการแข่งขันเพื่อค่านิยมอันดีงามและช่วยพัฒนาตนเองให้เกิดความเจริญงอกงาม

11.10.1.5 วิธีทางประชาธิปไตยเท่านั้นที่จะส่งเสริมให้เกิดความสัมพันธ์กันอย่างเสรีในทางความคิดและบุคลิกภาพ ประชาธิปไตยเกิดจากการร่วมมือร่วมใจและการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้น โรงเรียนจะต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักปกครองตนเอง ส่งเสริมให้มีการอภิปรายและแสดงความคิดเห็นอย่างเสรี (บำรุง กลัดเจริญ. 2524: 93-97)

11.10.2 การสอนของนักการศึกษาตามทฤษฎีพัฒนานิยม มีดังนี้

11.10.2.1 หลักสูตร ควรยึดหลักความแตกต่าง และความเจริญงอกงามของบุคคลการบรรจุมิใช่อย่างใด ในหลักสูตรจะต้องเน้นความสำคัญแห่งประสบการณ์ของผู้เรียน โดยถือว่าประสบการณ์นั้นควรเป็นประสบการณ์ที่สัมพันธ์กับชีวิตจริง และจะต้องให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ร่วมโดยตรงกับประสบการณ์นั้น

11.10.2.2 รูปแบบของการสอน ได้แก่ กระบวนการสอนแบบกลุ่มที่มีความร่วมมือกันแบบพลวัต (Dynamic teaching) ซึ่งมุ่งฝึกให้ผู้เรียนได้สร้างการเรียนรู้ด้วยการกระทำและมีโอกาสได้ฝึกการทำงานทำให้ได้รับประสบการณ์ตรงในเรื่องที่ศึกษา และเป็นการส่งเสริมการอยู่ร่วมกันในสังคมประชาธิปไตย

11.10.2.3 ระเบียบวิธีสอน (Method of teaching) ที่ควรนำมาใช้ได้แก่ วิธีการสอนแบบแก้ปัญหา วิธีการสอนแบบโครงการ เป็นต้น

11.10.3 บทบาทของครู สำหรับบทบาทของครูในการเรียนการสอนได้แก่ เป็นผู้คอยกระตุ้น บัณฑิตเสริม และคอยเฝ้าดู หมายความว่าในระยะแรกครูคอยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจที่จะประกอบกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง ในระยะต่อมาเมื่อนักเรียนมีความสนใจที่จะเรียนรู้ด้วยตนเองแล้ว บทบาทของครูคือการทำหน้าที่ในการส่งเสริมและคอยให้คำปรึกษาจนกระทั่งแน่ใจว่า

นักเรียนได้ประกอบกิจกรรมตามแนวทางที่เหมาะสมแล้วในระยะสุดท้ายครูต้องคอยสังเกตและเฝ้าดูเท่านั้น ให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมต่างๆ ด้วยตนเอง (สมบุญ พรหมภพ. 2535: 638-641)

สรุปได้ว่า ทฤษฎีปรัชญาการศึกษาตามแนวคิดพัฒนานิยมมองว่าการศึกษาคือการพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา การจัดการเรียนการสอนควรยึดเด็กเป็นศูนย์กลางโดยให้ผู้เรียนได้เรียนตามความสนใจ ความถนัด ลักษณะและความแตกต่างของผู้เรียน การสร้างความรู้เกี่ยวกับสภาพสังคม และชีวิตประจำวันของผู้เรียนถือว่าเป็นสิ่งสำคัญการเรียนรู้เกิดจากการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกันโดยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และจากการทำงานร่วมกันระหว่างผู้เรียน

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย จากการศึกษางานวิจัยของสุรพล วิทคไพบูลย์ (2543) ผู้วิจัยได้คัดเลือกกิจกรรมมาสร้างและพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ 5 บทปฏิบัติการคือ บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ และบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

12. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คุณลักษณะรวมถึงความรู้ ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอนหรือประมวลประสบการณ์ทั้งปวงที่บุคคลได้รับจากการเรียนการสอน ทำให้บุคคลเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในด้านต่างๆ ของสมรรถภาพสมอง (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2529: 29)

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความรู้ ทักษะ และสมรรถภาพสมองด้านต่างๆ ของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนแต่ละวิชาซึ่งวัดได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2539: 146)

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คุณลักษณะด้านความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถในการนำมวลประสบการณ์ที่ได้รับจากการเรียนการสอน และการทำกิจกรรมต่างๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน (ศศิธร มงคลทอง. 2548: 36)

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง การวัดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมสมรรถภาพทางสมอง และสติปัญญา เช่น ความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องราวต่างๆ ที่เรียนไปแล้วว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งต้องวัดภายหลังเรียน และจะต้องวัดตามจุดประสงค์ของวิชาหรือเนื้อหาที่สอน (สุรพล วิทคไพบูลย์. 2543: 28)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้จากการใช้สมองของผู้เรียนเป็นกลไกในการเรียนรู้ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกเป็นเครื่องมือวัดผล

12.1 แนวทางการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ครูกำหนด ซึ่งสามารถวัดโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement test) สามารถแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ

12.1.1 ความรู้ (Knowledge) หมายถึง ความสามารถระลึกหรือจดจำแนวทางหรือข้อความจริงต่างๆ หรือเรื่องราวประสบการณ์ที่ผ่านมา

12.1.2 ความเข้าใจ (Comprehension) หมายถึง การมีความเข้าใจในความรู้ที่เรียนโดยสามารถอธิบายถ้อยคำของตนเองหรืออาจสามารถแปลความหมาย ตีความ และขยายความหมายของเรื่องได้

12.1.3 การนำไปใช้ (Application) หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้หรือหลักวิชาการที่เรียนมาแล้ว ในการสร้างสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน

12.1.4 การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะเรื่องราวต่างๆ หรือวัตถุสิ่งของเพื่อต้องการค้นหาสาเหตุเบื้องต้น หาความสัมพันธ์ระหว่างใจความระหว่างตอนตลอดจนหลักการที่แฝงอยู่ในเนื้อเรื่อง

12.1.5 การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง ความสามารถที่รวบรวมสิ่งที่เรียนรู้หรือประสบการณ์มาจัดระบบใหม่เป็นเรื่องใหม่ที่ไม่เหมือนเดิม มีความหมายและประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

12.1.6 การประเมินผล (Evaluation) หมายถึง ความสามารถที่จะใช้ความรู้ที่เรียนมาในการตัดสินใจวินิจฉัยคุณค่าของบุคคล เรื่องราว วัสดุสิ่งของอย่างมีหลักเกณฑ์

สรุปได้ว่า แนวทางการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสามารถวัดโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เป็นการวัดเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาสาระที่ได้เล่าเรียนหรือได้รับมาแบ่งการวัดออกเป็น 6 ระดับ คือ ความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินผล

12.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่วัดสมรรถภาพของสมองด้านต่างๆ ที่นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านมาแล้ว (สมนึก ภัททิยธนี. 2537: 35)

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่วัดความรู้ของนักเรียนที่ได้เรียนมาแล้ว ซึ่งมักจะเป็นข้อคำถามให้นักเรียนตอบด้วยกระดาดคำตอบกับให้นักเรียนปฏิบัติจริง (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2539: 146)

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งตรวจสอบความรู้ ทักษะ และสมรรถภาพทางสมองด้านต่างๆ ของผู้เรียนว่าหลังการเรียนรู้เรื่องนั้นๆ แล้วมีความรู้ความสามารถในวิชาที่เรียนมามากน้อยเพียงใด (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2529: 19)

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ทักษะ และความสามารถทางวิชาการที่ผู้เรียนได้เรียนรู้มาแล้วว่าบรรลุผลสำเร็จตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้เพียงใด (พิชิต ฤทธิ์จำรูญ. 2545: 96)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งตรวจสอบความรู้ ทักษะและสมรรถภาพด้านต่างๆ ที่เกิดจากการใช้สมองเป็นกลไกในการเรียนรู้ของนักเรียนที่ผ่านมานในอดีตมีความรู้ความสามารถมากน้อยเพียงใด

12.3 ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

12.3.1 แบบทดสอบของครู หมายถึง ชุดของคำถามที่ครูเป็นผู้สร้างขึ้นซึ่งเป็นข้อความที่ถามเกี่ยวกับความรู้ของนักเรียนในห้องเรียนว่านักเรียนมีความรู้มากน้อยเพียงใด บกพร่องส่วนไหนหรือเป็นการวัดดูความพร้อมที่จะเรียนบทเรียนใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของครู

12.3.2 แบบทดสอบมาตรฐาน หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชาหรือจากครูผู้สอนวิชานั้น แต่ผ่านการทดลองหาคุณภาพหลายครั้งจนกระทั่งมีคุณภาพดีพอจึงสร้างเกณฑ์ปกติของแบบทดสอบนั้นสามารถใช้เป็นหลักและเปรียบเทียบผลเพื่อประเมินค่าของการเรียนการสอนในเรื่องใดๆ ก็ได้ แบบทดสอบมาตรฐานจะมีคู่มือดำเนินการสอบบอกถึงวิธีการดำเนินการสอบและยังมีมาตรฐานในด้านการแปลผลคะแนนด้วย (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2539: 146)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ทั้งแบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นและแบบทดสอบมาตรฐานมีความเหมือนกันที่เป็นข้อคำถามที่วัดเนื้อหาและพฤติกรรมที่ได้สอนไปแล้ว ซึ่งพฤติกรรมนั้นต้องสามารถตั้งคำถามวัดได้แต่แตกต่างกันที่แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นไม่ได้ผ่านการทดสอบหาคุณภาพ คู่มือดำเนินการสอบและมาตรฐานในการแปลผลคะแนนที่เป็นมาตรฐานเหมือนกับแบบทดสอบมาตรฐาน

12.4 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิชิต ฤทธิ์จำรูญ (2545: 97-98) กล่าวว่า การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

12.4.1 วิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตรเพื่อวิเคราะห์เนื้อหาสาระและพฤติกรรมที่ต้องการวัด

12.4.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้สำหรับเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน และการสร้างข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์

12.4.3 กำหนดชนิดของข้อสอบและศึกษาวิธีการสร้างโดยการศึกษจากตารางวิเคราะห์หลักสูตรและจุดประสงค์การเรียนรู้

12.4.4 เขียนข้อสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร และให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

12.4.5 ตรวจสอบข้อสอบเพื่อให้ข้อสอบที่เขียนไว้มีความถูกต้องตามหลักวิชา มีความสมบูรณ์ครบถ้วนตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร

12.4.6 จัดพิมพ์ข้อสอบฉบับทดลองโดยมีคำชี้แจงหรือคำอธิบายวิธีตอบแบบทดสอบ และจัดวางรูปแบบการพิมพ์ให้เหมาะสม

12.4.7 ทดสอบและวิเคราะห์ข้อสอบเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบก่อนนำไปใช้จริง โดยนำแบบทดสอบไปทดลองสอบกับกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกลุ่มที่ต้องการทดสอบจริง แล้วนำผลการสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงข้อสอบให้มีคุณภาพ

12.4.8 จัดทำแบบทดสอบฉบับจริงจากผลการวิเคราะห์ข้อสอบหากพบว่าข้อสอบใดคุณภาพไม่ดีพออาจจะต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงแก้ไขข้อสอบให้มีคุณภาพดีขึ้น แล้วจึงจัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับจริงที่จะนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป

จากขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสรุปได้ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เริ่มต้นจากการวิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตร การกำหนดจุดประสงค์ ชนิดของข้อสอบ การเขียนข้อสอบ ตรวจสอบข้อสอบ จัดพิมพ์ข้อสอบฉบับทดลอง ตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ และจัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อนำไปใช้ต่อไป

12.5 แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิชิต ฤทธิ์จำรูญ (2545: 100) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะมีคุณภาพนั้นจะต้องอาศัยหลักการสร้างที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

12.5.1 นิยามพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้ที่ต้องการวัดให้ชัดเจนโดยกำหนดในรูปของจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียนหรือรายวิชาด้วยคำที่เฉพาะเจาะจงสามารถวัดและสังเกตได้

12.5.2 ควรสร้างแบบทดสอบให้ครอบคลุมผลการเรียนรู้ที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมการเรียนรู้โดยจะต้องกำหนดตัวชี้วัด และขอบเขตของผลการเรียนรู้ที่จะวัดแล้วจึงเขียนข้อสอบตามตัวชี้วัดจากขอบเขตที่กำหนดไว้

12.5.3 แบบทดสอบที่สร้างขึ้นควรประกอบด้วยข้อสอบชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมสอดคล้องกับการวัดพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้

12.5.4 แบบทดสอบที่สร้างขึ้นจะต้องให้การตรวจคะแนนไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการวัดซึ่งไม่ว่าจะนำแบบทดสอบไปทดสอบกับผู้เรียนในเวลาที่แตกต่างกันจะต้องให้ผลการวัดเหมือนเดิม

สรุปได้ว่า แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต้องมีการกำหนดพฤติกรรมที่ต้องการวัดอย่างชัดเจนในรูปของจุดประสงค์ที่สามารถวัดและสังเกตได้ ให้ผลการวัดที่เหมือนเดิมแม้ว่าจะทดสอบกับนักเรียนในเวลาแตกต่างกัน

12.6 การสร้างแบบทดสอบเลือกตอบ

พิชิต ฤทธิ์จำรูญ (2545: 118-125) กล่าวว่า แบบทดสอบเลือกตอบเป็นแบบทดสอบที่ให้ผู้สอบเลือกคำตอบที่ถูกต้องหรือคำตอบที่ดีที่สุด เหมาะสมที่สุดหรือถูกที่สุดจากตัวเลือกต่างๆ ที่กำหนดให้ ลักษณะสำคัญของแบบทดสอบชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือตอนนำหรือตัวคำถามซึ่งเป็นข้อความที่กระตุ้น จูงใจให้ผู้สอบค้นหาคำตอบ และส่วนที่เป็นตัวเลือกเป็นส่วนที่เป็นไปได้ในการตอบคำถาม รูปแบบคำถามของแบบทดสอบเลือกตอบ จุดประสงค์ วิธีการ และเนื้อหาที่จะถามแต่รูปแบบที่นิยมใช้กันมี 3 แบบคือ

12.6.1 แบบคำถามโดดหรือคำถามเดี่ยว (Single question) รูปแบบคำถามนี้เป็นแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ลักษณะของคำถามจะถามเฉพาะเรื่องใดเรื่องหนึ่งจบลงในตัวเองไม่เกี่ยวข้องกับข้ออื่น ๆ

12.6.2 แบบตัวเลือกคงที่ (Constant question) รูปแบบคำถามนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือส่วนที่เป็นตัวเลือก และส่วนที่เป็นตัวคำถามเช่นเดียวกับรูปแบบคำถามเดี่ยวหรือคำถามโดดแต่จะต่างกันที่ตัวเลือกแบบคงที่จะเป็นตัวเลือกชุดเดียวกับของคำถามทั้งชุดนั้น โดยจะแยกอยู่ต่างหากจากตัวคำถาม การเขียนคำถามแบบนี้จะต้องเขียนคำชี้แจงของคำถามแต่ละชุดให้ชัดเจนโดยควรระบุว่าตัวเลือกชุดนี้ใช้เป็นคำตอบข้อใดบ้าง และจะใช้เกณฑ์ใดในการพิจารณา ซึ่งอาจเป็นความถูกต้อง ความสอดคล้องหรือข้อเท็จจริง

12.6.3 แบบกำหนดสถานการณ์ (Situation question) รูปแบบคำถามนี้เป็นแบบที่กำหนดสถานการณ์จำลองขึ้นซึ่งอาจอยู่ในรูปของข้อความหรือภาพ แล้วเขียนคำถามเกี่ยวกับข้อความหรือภาพที่กำหนดเป็นสถานการณ์นั้นโดยยึดหลักการว่าอย่าถามให้ตรงเรื่อง อย่าถามนอกเรื่อง แต่ควรถามให้เกี่ยวพันหรืออ้างอิงเรื่อง สภาพการณ์หรือพาติพิงเรื่องราวนั้น

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ ซึ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ด้าน คือ ด้านความรู้ ด้านความเข้าใจ ด้านการนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ โดยใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกเป็นเครื่องมือวัดผล

13. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

13.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การสังเกต การวัด การจำแนก การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกกับสเปส และสเปสกับเวลา การคำนวณ การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การออกแบบและควบคุมตัวแปร การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (ประวิตร ชูศิลป์. 2524: 21)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมที่เกิดจากการปฏิบัติ และการฝึกฝนอย่างเป็นระบบ (ภพ เลหาะไพบูลย์. 2537: 14)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสืบเสาะหาความรู้โดยผ่านการปฏิบัติและการฝึกฝนความคิดอย่างเป็นระบบจนเกิดเป็นความคล่องแคล่วชำนาญ (สุรพล วิหคไพบูลย์. 2543: 30)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยผ่านการปฏิบัติและการฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบจนเกิดเป็นความคล่องแคล่ว (พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. 2544: 25)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสืบเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเกิดจากกระบวนการฝึกคิดและปฏิบัติอย่างมีระบบ

13.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการการศึกษาวิทยาศาสตร์ของสมาคมอเมริกันเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ (American Association for the Advancement of Science) ได้แบ่งทักษะกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นคว้าว่ามี 13 ทักษะ ซึ่งทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2526: 1-5) ได้นำมาจัดกระทำแนวการสอนให้ครูไทยโดยแบ่งทักษะทั้งหมดออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

13.2.1 ทักษะกระบวนการขั้นมูลฐาน (The basic process skills)

13.2.1.1 ทักษะการสังเกต หมายถึง การใช้ประสาทสัมผัสหลายอย่างในขณะเดียวกันหรือเพียงอย่างเดียว ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนังเพื่อใช้ในการสัมผัสเหตุการณ์หรือสัมผัสกับวัตถุโดยตรงการกระทำดังกล่าวเพื่อที่จะหารายละเอียดของสิ่งหรือเหตุการณ์นั้นโดยมีข้อเงื่อนไขว่าจะต้องไม่มีการใส่ความคิดเห็นของผู้สังเกตลงไป

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ ชี้บ่งและบรรยายสมบัติของวัตถุหรือรายละเอียดของเหตุการณ์โดยใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง บรรยายถึงสมบัติเชิงปริมาณอย่างคร่าวๆ โดยการกะประมาณ บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้

13.2.1.2 ทักษะการวัด หมายถึง การเลือกและการใช้เครื่องมือทำการวัดหาปริมาณสิ่งของสิ่งต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง และมีหน่วยของการวัดกำกับมาด้วย

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เลือกเครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด บอกเหตุผลในการเลือกเครื่องมือวัดได้ บอกวิธีจัดและใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง ทำการวัด ความกว้าง ความยาว ความสูง อุณหภูมิ ปริมาตรได้ถูกต้อง ระบุนิยามของตัวเลขได้กับสิ่งที่ทำการวัดได้

11.2.1.3 ทักษะการจำแนกประเภท หมายถึง การจัดแบ่งพวกหรือเรียงลำดับของวัตถุหรือจัดเรียงเหตุการณ์โดยใช้ความเหมือนหรือความแตกต่าง

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เรียงลำดับเหตุการณ์หรือแบ่งพวกสิ่งของต่างๆ จากเกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดไว้ เรียงลำดับเหตุการณ์แบ่งพวกสิ่งของต่างๆ โดยใช้เกณฑ์ของตนเองได้ สามารถบอกเกณฑ์ที่ผู้อื่นใช้เรียงลำดับหรือแบ่งพวกได้

13.2.1.4 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกกับสเปส และสเปกกับ เวลา หมายถึง บริเวณที่ว่างที่วัตถุนั้นยึดครองตามรูปร่างของวัตถุอาจเป็นรูปทรง 2 หรือ 3 มิติ และก่อให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่ง

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ บ่งชี้ถึงรูปหรือวัตถุทั้ง 2 และ 3 มิติที่กำหนดให้ได้ วาดรูป 2 มิติจากภาพหรือวัตถุรูป 3 มิติได้ บอกชื่อของรูปทรง และรูปทรงเรขาคณิตได้ บอกความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติ และ 3 มิติได้ เช่น การหมุนรูป 2 มิติ แล้วบอกได้ว่ารูป 3 มิติเป็นอย่างไรรวมถึงคุณภาพของเงาที่เกิดจากรูป 3 มิติ ว่าเป็นรูป 2 มิติ แบบใดและถ้าตัดรูป 3 มิติ ออกจากกันเป็น 2 ส่วน สามารถบอกได้ว่ารอยตัดแบบ 2 มิติ ของวัตถุนั้นเป็นแบบใด

13.2.1.5 ทักษะการคำนวณ หมายถึง การนับจำนวนของวัตถุ และการนำตัวเลขแสดงจำนวนที่นับได้มาทำการคิดคำนวณโดยการบวก ลบ คูณ หาร หรือหาค่าเฉลี่ย

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ นับจำนวนสิ่งของได้ถูกต้องใช้ตัวเลขแทนจำนวนที่นับได้ ตัดสินได้ว่าของในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากันหรือแตกต่างกัน สามารถบอกวิธีการหาค่าเฉลี่ย หาค่าเฉลี่ยได้ แสดงวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้

11.2.1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล หมายถึง การนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลองและจากแหล่งอื่นๆ มาจัดทำในรูปแบบใหม่ๆ เช่น หาความถี่ เรียงลำดับ

จัดแยกประเภทหรือคำนวณหาค่าใหม่เพื่อให้เกิดความเข้าใจกับข้อมูลชุดนั้นดีขึ้นโดยอาจเสนอในรูปแบบของตาราง แผนภูมิ แผนภาพ รูปวงจร กราฟ สมการ การเขียนบรรยาย ฯลฯ

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เลือกรูปแบบที่จะใช้ในการเสนอข้อมูล บอกเหตุผลในการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการนำเสนอข้อมูลได้ ออกแบบการเสนอข้อมูลที่ตนเองเลือกได้ เปลี่ยนแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบใหม่ที่ทำให้ความเข้าใจได้ง่ายขึ้น บรรยายลักษณะของบางสิ่งด้วยข้อความที่กะทัดรัดเหมาะสมจนผู้อื่นเข้าใจได้ วาดแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่จนสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจได้

13.2.1.7 ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล หมายถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลที่มีอยู่อย่างมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์ช่วยข้อมูลที่มีอาจได้จากการสังเกต การวัด หรือการทดลอง คำอธิบายนั้นเป็นสิ่งที่ได้จากความรู้หรือประสบการณ์เดิมของผู้สังเกตที่พยายามโยงบางส่วนของความรู้หรือประสบการณ์เดิมให้มาสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตนเองมีอยู่

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ สามารถอธิบายหรือสรุปเรื่องหนึ่งๆ โดยการเพิ่มความคิดเห็นให้กับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยอาศัยประสบการณ์ และความรู้เดิมช่วย

13.2.1.8 ทักษะการพยากรณ์ หมายถึง การสรุปคำตอบล่วงหน้าก่อนจะทดลองโดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ อาศัยหลักการ กฎ หรือทฤษฎีที่มีอยู่ในเรื่องนั้นมาช่วยในการสรุปการพยากรณ์ข้อมูลเกี่ยวกับตัวเลข ได้แก่ ข้อมูลที่เป็นตารางหรือกราฟสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การพยากรณ์ภายในขอบเขต และนอกขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ ทำนายผลที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่เป็นหลักการ กฎ ทฤษฎีที่มีอยู่ได้ ทำนายผลที่เกิดขึ้นของข้อมูลเชิงปริมาณทั้งภายในขอบเขตข้อมูลหรือภายนอกขอบเขตข้อมูลได้

13.2.2 ทักษะกระบวนการขั้นสูงหรือบูรณาการ (The integrated process skills)

13.2.2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน หมายถึง การคิดหาคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะทำการทดลองโดยอาศัยการสังเกตความรู้ ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐานคำตอบที่คิดล่วงหน้านี้ยังไม่ทราบหรือยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน สมมติฐานหรือคำตอบที่คิดไว้ล่วงหน้า มักจะกล่าวไว้เป็นข้อความที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับหรือตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งอาจจะถูกหรือผิดก็ได้ โดยจะทราบได้หลังจากการทำการทดลองหาคำตอบเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ สามารถหาคำตอบล่วงหน้าก่อนทำการทดลองโดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิม

13.2.2.2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ หมายถึง การกำหนดความหมาย และขอบเขตของคำต่างๆ (นำคำที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลองมากำหนดความหมาย) เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน และสามารถสังเกตหรือวัดได้

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ กำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่างๆ ให้สังเกตได้หรือทำการวัดได้

13.2.2.3 ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร หมายถึง การชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่งๆ

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้

13.2.2.4 ทักษะการทดลอง หมายถึง กระบวนการปฏิบัติเพื่อหาคำตอบ หรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ใน การทดลองซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลองการปฏิบัติการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ มีการกำหนดวิธีทดลองได้ถูกต้อง และเหมาะสม โดยคำนึงถึงตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่จะทำการควบคุม รวมถึงการระบุอุปกรณ์หรือสารเคมีซึ่งจะต้องใช้ในการทดลอง ปฏิบัติการทดลอง และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม บันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

13.2.2.5 การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป หมายถึง การแปลความหมาย หรือการบรรยายลักษณะ และสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ การตีความหมายอาจใช้ด้านอื่นมาประกอบ เช่น การสังเกต การคำนวณ เป็นต้น การลงข้อสรุป หมายถึง การสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้ว คือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ เช่น การตีความหมายจากกราฟหรือการตีความหมายที่ต้องใช้ทักษะคำนวณ บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้อง

สรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีทั้งสิ้น 13 ทักษะ แบ่งเป็นทักษะกระบวนการขั้นพื้นฐาน 8 ทักษะ ได้แก่ ทักษะการสังเกต ทักษะการวัด ทักษะการจำแนกประเภท ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลา ทักษะการคำนวณ ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล ทักษะการพยากรณ์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง ทักษะการตีความหมายและการลงข้อสรุป

13.3 การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

การวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถวัดได้โดยใช้แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบประเภทนี้สามารถบ่งชี้ระดับคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของผู้สอบด้านความคิด และทักษะปฏิบัติซึ่งสามารถดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

13.3.1 ศึกษากรอบแนวคิดทฤษฎีและจุดมุ่งหมายของการสร้างแบบทดสอบเพื่อทำความเข้าใจตัวแปรหรือประเด็นที่ต้องการวัดค่า มีแนวคิดทฤษฎีอะไรเป็นกรอบอ้างอิงรวมทั้งศึกษากับใครเพื่ออะไร

13.3.2 กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบทดสอบ เป็นการพิจารณาว่าแบบทดสอบที่จะสร้างขึ้นว่าประกอบด้วยข้อบ่งชี้เนื้อหาสาระและพฤติกรรมอะไรบ้างที่ต้องการวัดโดยต้องคำนึงว่าข้อคำถามทั้งหมดในแบบทดสอบที่สร้างขึ้นจะต้องเป็นตัวแทนที่ดีของเนื้อหาสาระและพฤติกรรมทั้งหมดตามข้อบ่งชี้ที่นิยามไว้

13.3.3 การสร้างข้อคำถาม เป็นการเขียนข้อคำถามตามที่ระบุไว้ในตารางกำหนดรายละเอียดลักษณะเฉพาะโดยยึดหลักการใช้ภาษาที่ง่ายต่อการเข้าใจ กระชับรัดกุมชัดเจน ไม่ชี้นำคำตอบและเป็นปรนัย

13.3.4 การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบรายข้อและฉบับ เป็นการศึกษานำร่องเพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบทดสอบฉบับตัวอย่างผู้ให้ข้อมูลเป็นรายข้อว่ามีความยากง่ายและอำนาจจำแนกเหมาะสมหรือไม่ จากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพของข้อคำถามรายข้อตามค่าความยากง่ายและอำนาจจำแนกก่อนนำไปทดลองสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านความตรงและความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับต่อไป (องอาจ นัยพัฒน์. 2548: 160-162)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เริ่มจากศึกษากรอบแนวคิดทฤษฎีและจุดมุ่งหมายของการวิจัย กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบทดสอบ การสร้างข้อคำถาม และการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ ซึ่งวัดทักษะด้านการสังเกต ทักษะการวัด การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะด้านการทดลอง โดยใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

14. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ในการสร้างเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้

การสร้างเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้เพื่อนำไปศึกษาผลที่ได้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การสอนควรคำนึงถึงเกณฑ์ ดังนี้

14.1 ความตรง

องอาจ นัยพัฒน์ (2548: 147-149) กล่าวว่า ความตรงเป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสิ่งที่ต้องการวัดว่าถูกต้อง ครบถ้วน ตรงตามจุดมุ่งหมาย ครอบคลุมครบถ้วนตรงตามเนื้อหาสาระ และสอดคล้องกับความเป็นจริงมากน้อยเพียงใดซึ่งหลักฐานที่แสดงความตรงของการวัดค่ามี 3 ประเภท ดังนี้

14.1.1 หลักฐานที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา (Content related evidence) เป็นสิ่งบ่งชี้ว่าข้อสรุปเฉพาะที่ได้จากผลของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดใดๆ มีเนื้อหาในคำถามทุกข้อเป็นตัวแทนของเนื้อหาตามทีระบุหรือนิยามไว้ในขอบข่ายเนื้อหาของตัวแปรที่ต้องการวัดหรือไม่ ซึ่งได้จากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในเนื้อหาที่ต้องการวัดผล

14.1.2 หลักฐานที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ (Criterion related evidence) เป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าค่าของคะแนนจากการวัดด้วยเครื่องมือใดๆ มีความสัมพันธ์กับคะแนนที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดอื่นๆ หรือเกณฑ์ภายนอกหรือไม่

14.1.3 หลักฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง (Construct related evidence) เป็นหลักฐานที่บ่งชี้ว่าข้อสรุปเฉพาะที่เป็นผลมาจากการตีความหมายของคะแนนที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดใดๆ มีความสอดคล้องกับจิตลักษณะและพฤติกรรมที่น่าสนใจตามโครงสร้างเชิงแนวคิดทฤษฎีมากน้อยเพียงใด

สรุปได้ว่า ความตรงเป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าที่มีความถูกต้อง ตรงตามจุดประสงค์ ครอบคลุมเนื้อหาสาระมากน้อยเพียงใดพิจารณาได้จากหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา เกณฑ์ภายนอก และหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง

14.2 ความเชื่อมั่น

องอาจ นัยพัฒน์ (2548: 149-152) กล่าวว่า เป็นคุณสมบัติของการวัดที่บ่งชี้ว่าเครื่องมือวัดมีเสถียรภาพหรือมีความคงเส้นคงวา (Consistency) ในการวัด กล่าวคือไม่ว่าจะวัดกี่ครั้งข้อสรุปที่ได้จากผลของการวัดจะมีค่าคงตัว การวัดความเชื่อมั่นสามารถประมาณค่าได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายและลักษณะข้อมูลเป็นสำคัญ ดังนี้

14.2.1 วิธีทดสอบซ้ำ (Test retest method) เป็นการทดสอบกับหน่วยตัวอย่างกลุ่มเดียวกัน 2 ครั้ง ณ เวลาแตกต่างกัน แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง มาหาค่าความสัมพันธ์ด้วยวิธีการ

ของเพียร์สัน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างผลการสอบซ้ำมีค่าเป็นบวกอยู่ในระดับสูง (ใกล้เคียง 1.00) แสดงว่าความเที่ยงของการวัดมีค่าสูง

14.2.2 วิธีใช้เครื่องมือวัดที่มีความคล้ายคลึง (Equivalent form method) เป็นการนำข้อมูลจากการวัดซึ่งได้มาจากเครื่องมือวัดที่มีลักษณะคล้ายคลึงเทียบเคียงกันหรือเป็นแบบคู่ขนานมา คำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ค่าที่ได้จะเป็นค่าของความเที่ยงของผลการวัดแต่การสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดมักประสบปัญหาอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคำถามหรือข้อความในเครื่องมือวัดแต่ละชุดผู้ตอบอาจตอบคำถามถูกในชุดแรกแต่อาจตอบผิดในชุดหลัง ส่งผลให้ความเที่ยงของการวัดมีค่าต่ำ

14.2.3 วิธีการหาค่าความคงตัวภายใน (Internal consistency method) เป็นการประมาณค่าความเที่ยงที่มุ่งหาความคงเส้นคงวาของข้อคำถามทั้งหมดที่อยู่ในเครื่องมือวัด ทำโดยนำเครื่องมือวัดไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความคงตัวภายใน ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

14.2.3.1 วิธีการแบ่งครึ่ง (Split half method) เป็นการแบ่งครึ่งของข้อคำถามในเครื่องมือวัด ออกเป็น 2 ส่วน โดยวิธีการสุ่มหรือแบ่งเป็นข้อคู่และข้อคี่ คะแนนที่ได้จากการตอบจากแต่ละส่วนของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน นำมาคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ด้วยวิธีของเพียร์สันค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{tt}) ที่ได้เป็นค่าความเที่ยงเพียงครึ่งหนึ่งของเครื่องมือวัด ดังนั้นจึงต้องนำค่าความเที่ยงที่คำนวณได้มา ขยายเป็นค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัดเต็มชุดต่อไป โดยใช้สูตรปรับขยายของสเปียร์แมน บราวน์ (Spearman-Brown)

14.2.3.2 วิธีการของคูเดอร์ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) เป็นวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัวภายในโดยไม่จำเป็นต้องแบ่งครึ่งเครื่องมือวัดออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน จึงทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการประสบปัญหาความยากลำบากในการแบ่งครึ่งเครื่องมือวัดออกเป็น 2 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีสมบัติคล้ายคลึงกันมากที่สุดออกไป

14.2.3.3 วิธีการของครอนบัทซ์ (Cronbach alpha method) หรือสัมประสิทธิ์แอลฟาสามารถนำไปใช้อย่างกว้างขวางกับข้อมูลผลการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดใดๆ ที่มีระบบการกำหนดค่าของผลการวัดเป็นแบบพหุนิยมหรือให้คะแนนได้หลายค่า

สรุปได้ว่า ความเที่ยงเป็นคุณสมบัติที่ถึงความคงเส้นคงวาของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดโดยไม่ว่าจะทำการวัดกี่ครั้งผลที่ได้ก็ยังคงเหมือนเดิม มีวิธีวัดอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายและลักษณะข้อมูล เช่น การทดสอบซ้ำ การใช้เครื่องมือวัดที่มีความคล้ายคลึง การหาค่าความคงตัวภายใน การแบ่งครึ่ง วิธีการของคูเดอร์ริชาร์ดสัน และวิธีการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา

14.3 ความเป็นปรนัย

ภัทธา นิคมานนท์ (2540: 127-128) กล่าวว่าความเป็นปรนัยเป็นความชัดเจน ถูกต้อง และการเข้าใจตรงกันโดยยึดถือความถูกต้องทางวิชาการเป็นเกณฑ์ การพิจารณาความเป็นปรนัยของแบบทดสอบ มีดังนี้

14.3.1 ชัดแจ้งในความหมายของคำถาม แบบทดสอบที่มีความเป็นปรนัยทุกคนที่อ่านข้อสอบย่อมจะเข้าใจตรงกัน ไม่ตีความไปคนละแง่ที่แตกต่างกัน

14.3.2 ตรวจให้คะแนนตรงกัน แบบทดสอบที่มีความเป็นปรนัย ไม่ว่าจะเป็นผู้ออกข้อสอบหรือใครก็ตามสามารถตรวจให้คะแนนได้ตรงกันหรือเฉลี่ยตรงกัน ข้อสอบที่ผู้ตรวจเฉลยไม่ตรงกันแสดงให้เห็นถึงความไม่ชัดเจนในคำถามหรือคำตอบ

14.3.3 แปลความหมายและให้คะแนนตรงกัน ทำให้สามารถแปลความหมายได้ชัดเจนว่าใครเก่ง อ่อนอย่างไร ตอบถูกมากน้อยต่างกันเพียงไร

สรุปได้ว่า ความเป็นปรนัยเป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่แสดงถึงความเข้าใจตรงกันโดยทุกคนที่อ่านข้อสอบสามารถเข้าใจความหมายของคำถาม สามารถตรวจให้คะแนน และแปลความหมายของคะแนนได้ตรงกัน

14.4 ความยากง่าย

ความยากง่ายของแบบทดสอบ หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบข้อคำถามนั้นถูกซึ่งนิยมให้แทนด้วย “p” มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1.00 ซึ่งในการพิจารณาแบบทดสอบนั้นสามารถพิจารณาได้ทั้งเป็นฉบับและแบบรายข้อ

14.4.1 การพิจารณาความยากง่ายของแบบทดสอบทั้งฉบับ มีวิธีพิจารณา ดังนี้

14.4.1.1 พิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยของคะแนนรวมทั้งฉบับ หากคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็มจะสรุปได้ว่าแบบทดสอบฉบับนั้นง่ายหรือค่อนข้างง่าย และหากคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็มจะสรุปได้ว่าแบบทดสอบฉบับนั้นยากหรือค่อนข้างยาก แบบทดสอบทดสอบที่มีความยากง่ายพอเหมาะไม่จำเป็นว่าคะแนนเฉลี่ยทั้งฉบับต้องได้ 50% เสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการสอบหากเป็นการสอบระหว่างการเรียนการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนสามารถผ่านเกณฑ์ตามจุดประสงค์ให้มากที่สุด ลักษณะนั้นแบบทดสอบที่มีความยากง่ายพอเหมาะจะค่อนข้างง่าย เพราะผู้สอบสามารถทำข้อสอบได้มากเป็นส่วนใหญ่ หากเป็นการสอบคัดเลือกที่มีการแข่งขันแบบทดสอบที่มีความยากง่ายพอเหมาะอาจค่อนข้างยากก็ได้

14.4.1.2 พิจารณาจากค่าความยากง่ายของข้อคำถามรายข้อ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความยากรายข้อรวมกันทั้งฉบับ ความยากง่ายของข้อสอบรายข้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1.00 หากค่าเฉลี่ยของค่าความยากง่ายรายข้อทั้งฉบับสูงกว่า .50 จะสรุปได้ว่าแบบทดสอบฉบับนั้นง่ายหรือ

ค่อนข้างง่าย ในทางตรงข้ามถ้าค่าเฉลี่ยของค่าความยากง่ายต่ำกว่า .50 จะสรุปได้ว่าแบบทดสอบยาก หรือค่อนข้างยาก

14.4.2 พิจารณาความยากง่ายของแบบทดสอบรายข้อ โดยพิจารณาจากจำนวนผู้ตอบ ถูกในแต่ละข้อ ถ้าข้อใดที่มีผู้ตอบถูกมากกว่าครึ่งหนึ่งของผู้สอบแสดงว่าเป็นข้อสอบที่ง่ายหรือค่อนข้างง่าย ถ้าจำนวนผู้ตอบถูกน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของผู้สอบทั้งหมด แสดงว่ายากหรือค่อนข้างยาก

ในการแปลความหมายค่า p อาจแบ่งได้เป็น 5 ช่วง ดังนี้

ค่า $p = 0-.19$ เป็นข้อสอบที่ยากมาก มีผู้ตอบถูกไม่ถึง 20 คน จากผู้สอบ 100 คน

ค่า $p = .20-.39$ เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างยาก มีผู้ตอบถูก 20-39 คน จากผู้สอบ 100 คน

ค่า $p = .40-.60$ เป็นข้อสอบที่ยากง่ายปานกลาง มีผู้ตอบถูก 40-60 คน จากผู้สอบ 100 คน

ค่า $p = .61-.80$ เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย มีผู้ตอบถูก 61-80 คน จากผู้สอบ 100 คน

ค่า $p = .81-1.00$ เป็นข้อสอบที่ง่ายมาก มีผู้ตอบถูก 81-100 คน

แบบทดสอบที่ดีควรมีความยากง่ายพอเหมาะไม่ยากหรือง่ายเกินไป แบบทดสอบฉบับหนึ่งๆ ควรมีผู้ตอบถูกไม่ต่ำกว่า 20 คน และไม่เกิน 80 คน จากผู้สอบ 100 คน นั่นคือค่า p อยู่ระหว่าง .20-.80 จึงถือว่าแบบทดสอบมีความยากง่ายพอเหมาะ (ภัทรา นิคมานนท์. 2540: 128-130)

สรุปได้ว่า ความยากง่ายของแบบทดสอบสอบเป็นสัดส่วนที่แสดงถึงจำนวนผู้ที่ตอบถูกในคำถาม ซึ่งแบบที่ดีต้องมีความยากง่ายที่พอเหมาะไม่ยากหรือง่ายเกินไป พิจารณาได้จากคำถามเป็นรายข้อ และทั้งฉบับของแบบทดสอบ

14.5 อำนาจจำแนก

แบบทดสอบที่ดีต้องจำแนกได้ หมายถึง สามารถแบ่งผู้สอบออกตามระดับความสามารถ เก่ง-อ่อนได้ โดยคนเก่งจะตอบถูก คนอ่อนจะตอบผิด ข้อสอบที่ทุกคนตอบถูกหมด หรือตอบผิดหมดไม่สามารถจำแนกได้ว่าใครเก่ง ใครอ่อนได้ ค่าอำนาจจำแนกแทนด้วย “ r ” ซึ่งมีค่าระหว่าง -1.00 ถึง +1.00 การพิจารณาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบสามารถพิจารณาได้ทั้งฉบับและเป็นรายข้อ ดังนี้

14.5.1 การพิจารณาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบทั้งฉบับ มีวิธีพิจารณา ดังนี้

14.5.1.1 พิจารณาจากคะแนนรวมของการทำแบบทดสอบทั้งฉบับ ถ้าคะแนนรวมของผู้สอบทั้งกลุ่มมีการกระจายมากตั้งแต่เกือบศูนย์ถึงเกือบเต็ม สรุปได้ว่าแบบทดสอบฉบับนั้นจำแนกได้ แต่ถ้าคะแนนรวมของผู้สอบเกาะกลุ่มกัน มีการกระจายของคะแนนน้อยแสดงว่าแบบทดสอบจำแนกได้ต่ำหรือจำแนกไม่ได้

14.5.1.2 พิจารณาจากการหาค่าเฉลี่ยของอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบทั้งฉบับ ค่าอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบมีค่าระหว่าง -1.00 ถึง 1.00 หากค่าเฉลี่ยของค่าอำนาจจำแนกรายข้อเท่ากับหรือมากกว่า .20 แสดงว่าแบบทดสอบฉบับนั้นจำแนกได้

14.5.1.3 การพิจารณาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบเป็นรายข้อ ข้อคำถามที่สามารถจำแนกได้นั้นจะมีจำนวนคนเก่งตอบถูกมากกว่าคนอ่อน ข้อใดที่มีจำนวนคนอ่อนตอบถูกมากกว่าคนเก่งเรียกว่าจำแนกกลับ ส่วนข้อที่ทั้งคนเก่งและคนอ่อนตอบถูกหรือผิดพอๆ กัน สรุปได้ว่าจำแนกไม่ได้

ในการแปลความหมายค่า r ให้เกณฑ์ในการแปลความหมาย ดังนี้

r มีค่าระหว่าง .20 ถึง 1.00 หมายความว่า จำแนกได้

r มีค่าระหว่าง -.19 ถึง +.19 หมายความว่า จำแนกไม่ได้

r มีค่าระหว่าง -.20 ถึง -1.00 หมายความว่า จำแนกกลับ

ข้อสอบที่ดีควรมีค่า r ตั้งแต่ +.20 ไปจนถึง +1.00 (ภทรา นิคมานนท์. 2540: 131)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ค่าอำนาจจำแนกเป็นเกณฑ์ที่ใช้แบ่งระดับความเก่ง อ่อนของผู้ที่ตอบข้อสอบโดยคนเก่งจะตอบถูก คนอ่อนจะตอบผิด พิจารณาจากแบบทดสอบทั้งฉบับและเป็นรายข้อ

15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

งานวิจัยในประเทศ

เชิดศักดิ์ อ่อนระยับ (2548: 57) ได้ศึกษารูปแบบและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กสำหรับบ้านพักอาศัยของชุมชนริมน้ำ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพและสมรรถภาพการทำงานของถังกรองไร้อากาศที่บรรจุตัวกลางต่างชนิดกัน พบว่าตัวกลางพลาสติกมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี เท่ากับ 38.59% และขวดยาสูบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีเท่ากับ 47.25%

ณัญญา ภู่วรรณ และคณะ (2544: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางระบบถังกรองไร้อากาศสำหรับน้ำเสียอาคารสูง โดยการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของตัวกลางพลาสติกและขวดยาสูบ พบว่าระบบที่ใช้ตัวกลางพลาสติกมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยดีกว่าระบบที่ใช้ตัวกลางขวดยาสูบ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 86.60% และ 80.32% และ 62.62% และ 87.62%

ทัศน หลายสุขสิริ (2548: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์โดยใช้ตัวกลางลูกบอลพลาสติกสำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงาน พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 95.58 และบีโอดี:ซีโอดี ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25

นิรุสนา บินนิมะ (2549: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดตัวกลาง ชนิดเส้นใยในล่อนโดยระบบเลี้ยงตะกอน พบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ของระบบที่มีตัวกลางเชือกในล่อนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 76-18-96.90, 75.56-92.85 และ 64.32-95.98 ส่วนระบบที่ไม่มีตัวกลางเชือกในล่อนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 68.67-94.96, 68.11-89.57 และ 56.66-90.33

รังสี บัดลี (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดไม่เติมอากาศ โดยใช้พลาสติกเป็นตัวกลาง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนและน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

งานวิจัยในต่างประเทศ

โคบายาชิ และคณะ (Kobayashi and other. 1983: 903-909) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยใช้ตัวกลางพลาสติกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี และค่าของแข็งแขวนลอยรวมลดลง

โรมัน และเคน (Roman and Khan. 1978: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาดังกรองไร้อากาศขนาด $1.16 \times 1.61 \times 1.4$ เมตร ภายในบรรจุหินขนาด 2.5-3.5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดี 115-138 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีระยะเวลาการเก็บกัก 6.4 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 72.5

โรมัน และชาคลาเคลอร์ (Roman and Chaklaclor. 1972: 1560-1562) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศแบบป้อนน้ำย่นขึ้นโดยใช้ตัวกลางเป็นหินหรือกรวดขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 1/16, 1/4, 1/2, 3/4 นิ้ว ใส่ในถังบำบัดจำนวน 3 ถัง ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ออกจากถังเกรอะ พบว่าสามารถบำบัดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 71 73 และ 75 ตามลำดับทั้ง 3 ถัง ซึ่งมีค่าบีโอดีเข้าถังกรองตั้งแต่ 130-140 มิลลิกรัมต่อลิตร

พรีทอเรียส (Pretorius. 1971: 681-687) ได้ศึกษากระบวนการถังกรองไร้อากาศชนิดสัมผัส โดยใช้ก้อนหินเป็นตัวกลางสำหรับการบำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถบำบัดค่าซีโอดีเฉลี่ยได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่ระยะเวลาการเก็บกัก 24 ชั่วโมง อุณหภูมิในการบำบัด 20 องศาเซลเซียส และสามารถย่อยสลายสารแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 35-40

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้ตัวกลาง พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

15.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพของบทปฏิบัติการ

จันทร์จิรา จุมพลหล้า (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบสารอาหารในเห็ดภูฐานสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า คุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก

จรัส อินทลาภาพร (2545: 120) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดี

ฉัตรชัย วายุวรรณะ (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

ทวีข แจ่มจรัส (2545: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง น้ำสกัดชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นกรณีศึกษาโรงเรียนบ้านพุน้ำร้อน จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก

อัมพร กรุดวงษ์ (2548: 115) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อนสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม พบว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า คุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดีถึงระดับดีมาก

15.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

กานต์รวี ใจงาม (2545: 74) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การผลิตแก๊สไฮโดรเจนในท้องถิ่น พบว่า มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 79.16/82.79

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 55) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 81.19/80.33

ฐานันท์ เมธีพลกุล (2542: 104) ได้สำรวจปลาทะเลที่หาเทียบเรือประมงชุมพรเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมสร้างความรู้ชีววิทยา เรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 86.40/82.67

สมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันต์ (2544: 130) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตของ สถาบันราชภัฏ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 87.76/86.73

อรอุมา ละมุล (2541: 121) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง วัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่า ประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 80.11/80.27

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 80/80

15.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน

15.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

งานวิจัยในประเทศ

ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์ (2545: 68) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแปรรูปและทดสอบเรื่องสารอาหารในพืชสมุนไพรสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้ทำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

พรยมล บัวศิริ (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง สารและสมบัติของสารสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 พบว่าคะแนนเฉลี่ยผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านความรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

เมธา โยธาฤทธิ์ (2549: 84) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดปฏิบัติการ เรื่อง ระบบนิเวศป่าชายเลน สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พบว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างหลังใช้บทปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ศุภพงศ์ คล้ายคลึง (2545: 45) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทดลองโดยใช้ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สุรพล วิหคไพบูลย์ (2543: 62) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้ทำบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

งานวิจัยในประเทศ

สมิท (Smith. 1994: 2528-A) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายกับการสอนแบบให้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง พบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบลงมือปฏิบัติด้วยตนเองสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยาย

อัลรูวาซิด (Al-Ruwashid. 1984: 1357- A) ได้ศึกษาผลของการเรียนการสอนวิชาเคมีที่ใช้การบรรยายอย่างเดียวกับการบรรยาย และการทำบทปฏิบัติการที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี พบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบการบรรยาย และการทำบทปฏิบัติการมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่าการจัดกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึกคิด ฝึกค้นคว้าปฏิบัติด้วยตนเองจะมีผลทำให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในบทเรียนอย่างแท้จริง และส่งผลให้นักเรียนเกิดการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ดีขึ้น

15.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยในประเทศ

จำรัส อินทลาภาพร (2545: 120) ได้ศึกษาการพัฒนานาบทปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ชลิตา พันธุ์ออน (2545: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนานาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาหมัก พบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ธนวรรณ โสมน้อย (2548: 74) ได้ศึกษาการพัฒนานาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา พบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548: 143) ได้ศึกษาการพัฒนานาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแทนนินจากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี พบว่าโดยภาพรวมของนักเรียนก่อนเรียน

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 55) ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

งานวิจัยในต่างประเทศ

เกเบิล และรับบา (Gable and Rubba. 1977: 503-511) ได้ศึกษาผลของการสอนและประสบการณ์ของการฝึกสอนที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนที่ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการมีผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่ไม่ได้รับการฝึก

แมคเบ็ธ (Macbeth. 1974: 45-51) ได้ศึกษาทักษะการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์โดยเปรียบเทียบการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนอนุบาลกับนักเรียนเกรด 3 พบว่าการสอนโดยให้เด็กอนุบาลทำการทดลองด้วยตนเองจะช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้สูงกว่านักเรียนที่มีอายุมากกว่า

ไรลีย์ (Riley. 1975: 5152-A) ได้ศึกษาผลการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูปีที่ 1-4 จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้จากการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง กลุ่มที่ 2 ได้รับการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เฉพาะทฤษฎี และกลุ่มที่ 3 ให้ทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามปกติ พบว่า กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มที่ 3

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนสามารถฝึก และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้โดยการปฏิบัติอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ครูต้องกระตุ้น และส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน โดยเฉพาะกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติการทดลอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนานาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ และ ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียมาพัฒนาเป็นนาบทปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้ในการทดลองสอนนักเรียนระดับ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพฯ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้า แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 2 การพัฒนานาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ตอนที่ 3 การนาบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ตอนที่ 1 : การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองภายใต้สภาวะการณ์ตามธรรมชาติ

2. สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้สถานที่โรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นสถานที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย การวิเคราะห์น้ำเสียในส่วนของคุณค่าความเป็นกรด-ด่างจะทำการตรวจวัดทันที ส่วนค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย จะทำการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เริ่มตั้งแต่วันที่ 20 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 4 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2550

4. ตัวอย่างน้ำและการเก็บตัวอย่าง

4.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในครั้งนี้ ได้แก่ น้ำทิ้งจากอาคารและสถานที่ต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

4.2 เก็บตัวอย่างน้ำมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วงนำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้งหมด 2 จุด คือ จุดที่ 1 น้ำเข้าระบบ และจุดที่ 2 น้ำออกจากระบบ

4.3 การเก็บตัวอย่างจะกระทำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง คือ วันพฤหัสบดี ตั้งแต่เวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 24 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง

5. ตัวแปรที่ศึกษา

5.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

5.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ตามค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง
- ค่าบีโอดี
- ค่าซีโอดี
- ค่าน้ำมันและไขมัน
- ค่าของแข็งแขวนลอย

6. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

6.1 วัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

- 6.1.1 ขวดพลาสติกใส่ตัวอย่างน้ำขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
- 6.1.2 ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
- 6.1.3 ปีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
- 6.1.4 แบบฟอร์มการเก็บตัวอย่างน้ำ

6.2 อุปกรณ์สำหรับผสมตัวอย่างน้ำ

- 6.2.1 ขวดแก้วทรงกระบอก ขนาด 2.5 ลิตร จำนวน 1 ใบ
- 6.2.2 กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- 6.2.3 กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- 6.2.4 กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ

6.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ

- 6.3.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical balance) ยี่ห้อ Preciga, Model Zeroroti II
- 6.3.2 พีเอชมิเตอร์ (pH meter) ยี่ห้อ Mettler, Model Delta 320
- 6.3.3 ตู้อบ (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert, Model 500
- 6.3.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Cooling incubator) ยี่ห้อ Shell lab, Model 815
- 6.3.5 ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 6.3.6 กระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน

6.3.8 เครื่องแก้วต่างๆ

6.3.9 สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

7. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทำโดยปรับเครื่องวัดให้ได้มาตรฐานโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4 และ 7 นำตัวอย่างน้ำใส่บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร จุ่มขั้ววัด (Electrode) ลงในตัวอย่างน้ำที่บรรจุในบีกเกอร์ 2 นาที บันทึกผลจากตัวเลขหน้าปัดเครื่องพีเอชมิเตอร์ (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

7.2 ค่าบีโอดี การตรวจวัดค่าบีโอดีวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮไซด์แบบปรับปรุง (Azide modification) โดยการใช้กระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำเจือจางที่เตรียมไว้จำนวน 3,000 มิลลิลิตร โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ดูดตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาค่าบีโอดีใส่ลงในกระบอกตวงตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในอัตราส่วนเจือจาง (Dilution ratio) แล้วเติมน้ำลงในกระบอกตวงให้มีปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร ทำการผสมด้วย แท่งแก้วโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศนานประมาณ 2 นาที จากนั้นถ่ายตัวอย่างน้ำจากกระบอกตวงลงสู่ขวดบีโอดีที่เตรียมไว้อย่างช้าๆ ให้เต็มทั้ง 2 ขวด โดยไม่ให้มีฟองอากาศแล้วปิดจุกให้สนิทแล้วนำตัวอย่างน้ำที่บรรจุอยู่ในขวดบีโอดี ขวดที่ 1 ไปหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ วันที่ 0 ส่วนตัวอย่างน้ำที่เหลืออีก 1 ขวด นำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำมาหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

7.3 ค่าซีโอดี การตรวจวัดค่าซีโอดีทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาแบบปิดทำโดยการดูดตัวอย่างน้ำมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วเพาะเชื้อ ขนาด 20 × 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) ลงไปจำนวน 3 มิลลิลิตร และตามด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) จำนวน 0.4 กรัม ถ้ามีคลอไรด์มาก ต้องเพิ่มโพแทสเซียมไดโครเมตเป็น 7 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดให้แน่นแล้วเขย่าให้สารผสมกันให้ดีวางหลอดแก้วในชั้นวาง แล้วทำการอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเทออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวยแล้วหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun indicator) ลงไป 2-3 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตมาตรฐาน (Standard ferrous ammonium sulfate solution) จนถึงจุดยุติ ซึ่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนจากเขียวอมน้ำเงินเป็นสีฟางข้าวจุดปริมาตรไว้ ทำแปลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างแล้วทำตามวิธีเดียวกัน (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

7.4 ค่าน้ำมันและไขมัน การตรวจวัดค่าน้ำมันและไขมันทำการวิเคราะห์โดยวิธีการสกัดไขมันและน้ำมันด้วยกรวยแยก ทำโดยนำตัวอย่างน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้นจนมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 2 เทตตัวอย่างตัวอย่างน้ำจากบีกเกอร์

ใส่กรวยแยก เดิมเฮกเซนจำนวน 10-15 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ ประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้สารผสมจะแยกชั้นโดยชั้นเฮกเซนจะอยู่ส่วนบนตัวอย่างน้ำจะอยู่ส่วนล่าง ถ่ายชั้นตัวอย่างน้ำไว้ในปิกรเกอร์เดิมเพื่อนำมาสกัดอีก เทชั้นของเฮกเซนซึ่งมีน้ำมันและไขมันละลายอยู่ผ่านกรวยกรองที่มีโซเดียมซัลเฟต บนกระดาษกรองในถ้วยระเหยซึ่งทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่และชั่งไว้แล้ว ทำการสกัดซ้ำด้วยวิธีเดียวกันอีกหลายครั้ง จนกระทั่งไขมันและน้ำมันถูกสกัดออกจากตัวอย่างน้ำจนหมด นำถ้วยระเหยซึ่งมีเฮกเซนและไขมันและน้ำมันละลายอยู่ไประเหยเอาเฮกเซนออกบนเครื่องอังน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งปราศจากความชื้นแล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักของไขมันและน้ำมันที่เหลืออยู่ (มันลิน ตันซุลเวคม์. 2538: 133-134)

7.5 ค่าของแข็งแขวนลอย การตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานแล้วนำไปอบแห้ง และชั่งน้ำหนัก (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

8. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ดำเนินการ ดังนี้

8.1 เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้อยู่ในสภาวะคงที่

8.2 สูบน้ำจากบ่อรวมน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒนำไปกักเก็บไว้ในถังหมักแบบใช้ตัวกลาง แล้วสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียระบบอื่นๆ เพื่อทำการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

8.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพ จะทำการเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบให้อยู่ในสภาวะคงที่ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง คือในวันพฤหัสบดี ตั้งแต่เวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 สัปดาห์ รวมจำนวนทั้งหมด 24 ตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย จะเก็บตัวอย่างรวมทั้งหมด 2 จุด คือ

จุดที่ 1 น้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒก่อนสูบเข้าสู่ระบบบำบัด

จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังหมักโดยใช้ตัวกลาง

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการจะกระทำภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว

8.4 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล รายละเอียดดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์ (กรมควบคุมมลพิษ. 2537: 89)

คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	1. พีเอชมิเตอร์
2. ค่าบีโอดี	2. เฮไลด์โมดิฟิเคชัน
3. ค่าซีโอดี	3. รีฟลักซ์แบบปิด
4. ค่าน้ำมันและไขมัน	4. วิธีการสกัดน้ำมันและไขมันด้วยกรวยแยก
5. ค่าของแข็งแขวนลอย	5. กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน

9. การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานได้แก่ สถิติพรรณนา ในการพรรณนาข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 รายละเอียดดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร (กรมควบคุมมลพิษ. 2547: www.pcd.go.th)

ค่าพารามิเตอร์	เกณฑ์มาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-9
2. ค่าบีโอดี	ไม่เกิน 20 มก./ลิตร
3. ค่าซีโอดี	ไม่เกิน 120 มก./ลิตร
4. ค่าน้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 20 มก./ลิตร
5. ค่าของแข็งแขวนลอย	ไม่เกิน 30 มก./ลิตร

ตอนที่ 2 : การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนย่อย

1. ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการ
2. ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการพัฒนานวัตกรรม
3. ยกร่างนวัตกรรม

3.1 บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผู้วิจัยพัฒนามาจากบทปฏิบัติการของสุรพล วิหคไพบูลย์ (2543) มี 5 บท คือ

- 1) บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 2) บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 3) บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- 4) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
- 5) บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

3.2 แต่ละบทของบทปฏิบัติการมีองค์ประกอบ ดังนี้

1) ชื่อบทปฏิบัติการ 2) ใ้บทความรู้ 3) หลักการ 4) จุดประสงค์ 5) เวลาที่ใช้ 6) อุปกรณ์และสารเคมี 7) วิธีการทดลอง 8) แบบรายงานผลการทดลอง และ 9) คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

3.3 คุณสมบัติขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการ

องค์ประกอบที่ 1 ชื่อบทปฏิบัติการ ต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของกิจกรรมที่ต้องการเป็นอย่างไร

องค์ประกอบที่ 2 ใ้บทความรู้ ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด และต้องสอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

องค์ประกอบที่ 3 หลักการ ต้องมีความสอดคล้องกับบทปฏิบัติการ และเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

องค์ประกอบที่ 4 จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้ วัดได้ เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง

องค์ประกอบที่ 5 เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่กำหนด

องค์ประกอบที่ 6 อุปกรณ์และสารเคมี ต้องเหมาะสมกับระดับนักเรียน และเรื่องที่ทำ
การทดลอง

องค์ประกอบที่ 7 วิธีการทดลอง ต้องเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ เรียงลำดับกิจกรรมได้เหมาะสม มีความยากง่ายพอเหมาะ ภาษาชัดเจนก่อให้เกิดความคิดรวบยอด ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็นมีส่วนร่วม ในกิจกรรม และส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง

องค์ประกอบที่ 8 แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอนสอดคล้องกับเนื้อหาวิชา และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน

องค์ประกอบที่ 9 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับการทดลอง และจุดประสงค์ จำนวนข้อ ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการนำไปใช้

4. ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจพิจารณาวัตกรรมทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ 1 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ ดร. สุนันทา มั่นมงคล ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 2 ท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จันทน์ไพแสง และอาจารย์ เวรกา หนูเพชร ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา 2 ท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ นิภา ศรีไพโรจน์ และอาจารย์ พิพัฒน์ เกิดปราโมทย์ เพื่อทำการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ ตามแนวของลิเคอร์ท (พวงรัตน์ พวีรัตน์. 2538: 114) โดยกำหนดระดับความคิดเห็นแต่ละช่วง คือ

5 คะแนน หมายถึง ดีมาก

4 คะแนน หมายถึง ดี

3 คะแนน หมายถึง ปานกลาง

2 คะแนน หมายถึง พอใช้

1 คะแนน หมายถึง ต้องปรับปรุง

จากนั้นนำคะแนนที่ได้จากการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย โดยการแปลความหมายจากข้อมูลที่ได้ ดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง ดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง ดี

ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง พอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง ต้องปรับปรุง

5. ทดลองเบื้องต้นกับนักเรียน

การทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนปฏิบัติตามขั้นตอน 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทดลองสอนกับนักเรียน 3 คน คือ เก่ง ปานกลาง อ่อน เพื่อตรวจสอบการรับรู้ข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดในนวัตกรรม แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1

ขั้นที่ 2 ทดลองสอนกับนักเรียน 9 คน (เก่ง ปานกลาง อ่อน) เพื่อปรับปรุงสืบเนื่องจากขั้นที่ 1 และมีการทดสอบผลการเรียน รวมทั้งมีการสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรมผู้เรียนแล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2

ขั้นที่ 3 ทดลองสอนกับนักเรียนประมาณ 30 คน ทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

ตอนที่ 3 : การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ขั้นตอนย่อย

1. กำหนดประชากร

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพฯ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 250 คน จำนวน 5 ห้องเรียน

2. เลือกกลุ่มตัวอย่าง

เลือกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพฯ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 40 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบจัดกลุ่ม (Cluster random sampling) จำนวน 1 ห้องเรียน

3. การสร้างเครื่องมือวัดผล

3.1 เครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งผู้วิจัยพัฒนามาจาก สุรพล วิหคไพบุลย์ (2543) โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.1.2 นำแบบทดสอบของสุรพล วิหคไพบุลย์ มาพัฒนาโดยในเบื้องต้นนำมาตรวจสอบโครงสร้างตามองค์ประกอบดังนี้ ด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์

3.1.3 ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา 2 ท่าน ตรวจสอบพิจารณาความเหมาะสมซึ่งผลที่ได้จะอยู่ในรูปเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณแล้วนำผลการพิจารณามาดำเนินการ

- คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยจะทำการคัดเลือกข้อที่มีค่าไม่ต่ำกว่า .50 ไว้ดำเนินการต่อไป

- นำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป

3.1.4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการพิจารณาดังกล่าวแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 100 คน นำมาคำนวณหาคุณภาพของเครื่องมือ

- หาความยากง่าย (p) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เทห์ ฟาน คัดเลือกข้อซึ่งมีความยากง่ายระหว่าง .20 - .80 ไว้เพื่อดำเนินการต่อไป

- หาอำนาจจำแนก (r) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เทห์ ฟาน คัดเลือกข้อที่มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไปไว้เพื่อดำเนินการต่อไป

- หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับจากข้อที่มีคุณสมบัติตามค่าความยากง่าย และอำนาจจำแนกโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ริชาร์ดสัน

3.1.5 จัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2 เครื่องมือวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งผู้วิจัยพัฒนามาจากสุรพล วิหคไพบุลย์ (2543) โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

3.2.2 นำแบบทดสอบของสุรพล วิหคไพบุลย์ มาพัฒนาโดยในเบื้องต้นนำมาตรวจสอบโครงสร้างตามองค์ประกอบ ดังนี้

- ทักษะการสังเกต
- ทักษะการวัด
- ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
- ทักษะการทดลอง

3.2.3 ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา 2 ท่าน ตรวจสอบพิจารณาความเหมาะสมซึ่งผลที่ได้จะอยู่ในรูปเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณแล้วนำผลการพิจารณามาดำเนินการ

- คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยจะทำการคัดเลือกข้อที่มีค่าไม่ต่ำกว่า .50 ไว้ดำเนินการต่อไป

- นำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป

3.2.4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการพิจารณาดังกล่าวแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 100 คน นำมาคำนวณหาคุณภาพของเครื่องมือ

- หาความยากง่าย (p) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เทห์ ฟาน คัดเลือกข้อซึ่งมีความยากง่ายระหว่าง .20 - .80 ไว้เพื่อดำเนินการต่อไป

- หาอำนาจจำแนก (r) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เทห์ ฟาน คัดเลือกข้อที่มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไปไว้เพื่อดำเนินการต่อไป

- หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับจากข้อที่มีคุณสมบัติตามค่าความยากง่าย และอำนาจจำแนกโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ริชาร์ดสัน

3.2.5 จัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4. กำหนดแบบแผนการทดลอง

ตาราง 3 แสดงแบบแผนการทดลองจำแนกตามตัวแปรตาม (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2538: 60-61)

ตัวแปรตาม	แบบแผนการทดลอง
1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	One - Group Pretest - Posttest Design
2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	One - Group Posttest - Only Design

การกำหนดแบบแผนการทดลองดังกล่าว มีเหตุผลดังนี้

1. ใช้แบบแผนการทดลองประเภท One - Group Pretest - Posttest Design เนื่องจากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไม่มีข้อมูลระบุในเอกสารทางวิชาการของโรงเรียน ส่งผลให้ผู้วิจัยต้องดำเนินการทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

2. ใช้แบบแผนการทดลองประเภท One - Group Posttest - Only Design เนื่องจากคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างครั้งนี้ ในปีการศึกษาที่ผ่านมาได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 69.43 ส่งผลให้ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบหลังเรียนเพียงครั้งเดียวเพื่อนำการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด

5. การดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปดำเนินการ ดังนี้

5.1 ทดสอบก่อนเรียน ทำการประเมินด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.2 ทดลองใช้บทปฏิบัติการกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก เขตราชเทวี กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2551 จำนวน 40 คน

5.3 การทดลองสอนกระทำในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 ในคาบวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 คาบ คาบละ 50 นาที รวม 10 คาบ

5.4 เมื่อนักเรียนเรียนครบทุกบทปฏิบัติการจะทำการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

5.5 ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

6.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t - test One group Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนา
บทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งออกเป็น 3
ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 : การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้
ออกซิเจน ผู้วิจัยได้นำเสนอโดยใช้ตาราง แผนภูมิ และคำอธิบายประกอบท้ายตาราง และแผนภูมิ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น มีดังต่อไปนี้

N	แทน	จำนวนตัวอย่าง
$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์
Max	แทน	ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์
Min	แทน	ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์
S.D.	แทน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจาก
ขวดพลาสติกเหลือใช้ แสดงดังตาราง 4-8 และภาพประกอบ 2-6

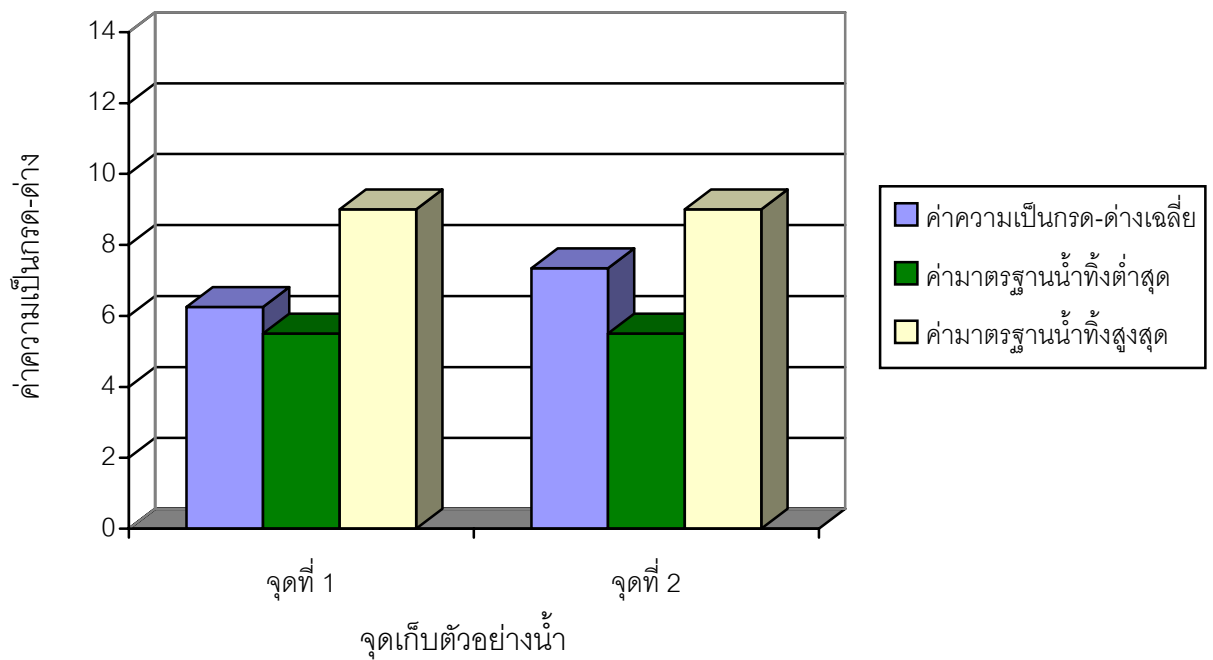
ตาราง 4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

จำนวน ตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 ⁽¹⁾ น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 ⁽²⁾ น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
$\bar{X}$	6.25	7.34	5.5-9
S.D.	0.17	0.29	
Max	6.90	7.88	
Min	6.04	6.84	
ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความเป็น กรด-ด่างเฉลี่ย (ร้อยละ)		17.44	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำเสียก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 4 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจุดที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 6.25 และจุดที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.34 ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 17.44 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างกับกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 2 แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.34 ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ระหว่างเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

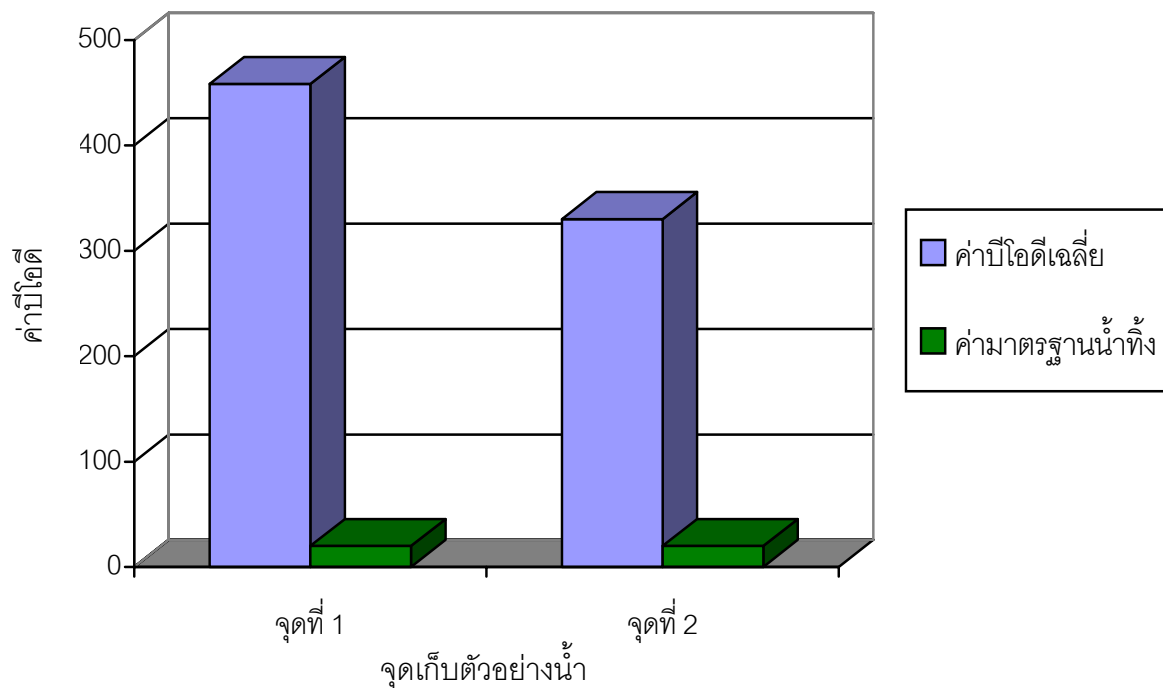
ตาราง 5 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

จำนวน ตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 ⁽¹⁾ น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 ⁽²⁾ น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
$\bar{X}$	458.21	330.04	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	42.02	40.67	
Max	575.23	436.00	
Min	412.00	290.00	
ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเฉลี่ย (ร้อยละ)		27.97	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำเสียก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 5 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 458.21 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 330.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 27.97 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงค่าปีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 3 แสดงว่าค่าปีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 330.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

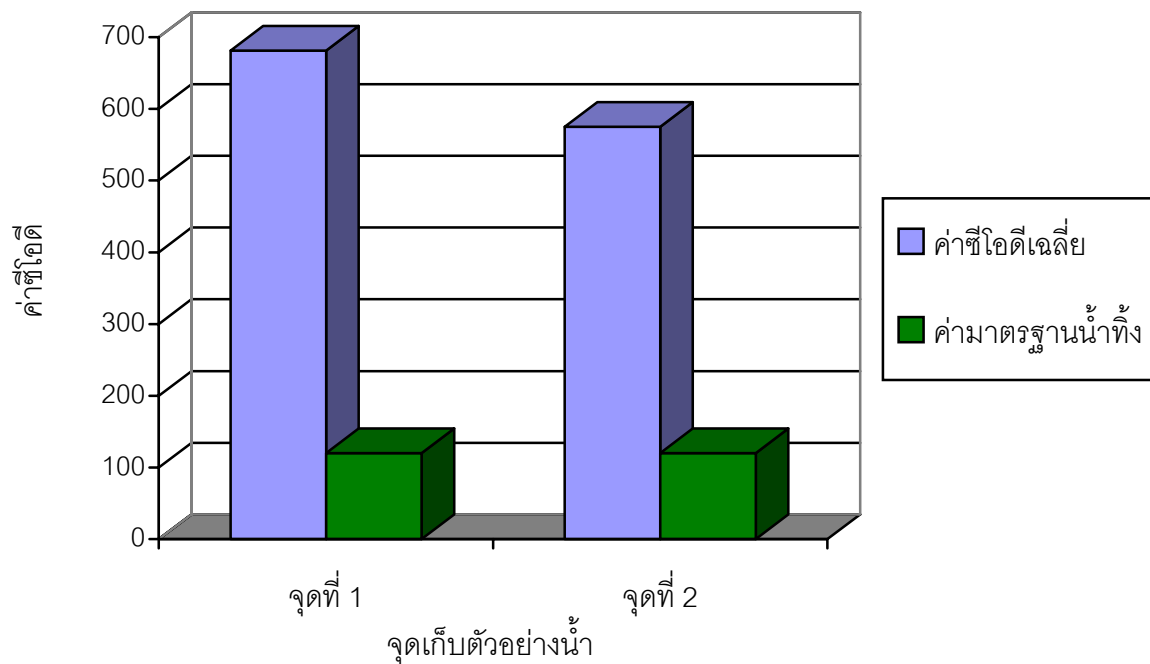
ตาราง 6 แสดงค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

จำนวน ตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 ⁽¹⁾ น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 ⁽²⁾ น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
$\bar{X}$	681.20	575.00	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	76.67	72.26	
Max	795.38	703.00	
Min	539.22	447.00	
ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีเฉลี่ย (ร้อยละ)		15.59	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำเสียก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 6 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 681.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 575.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 15.59 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าซีไอดีเฉลี่ยกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 4 แสดงว่าค่าบีไอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 575.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

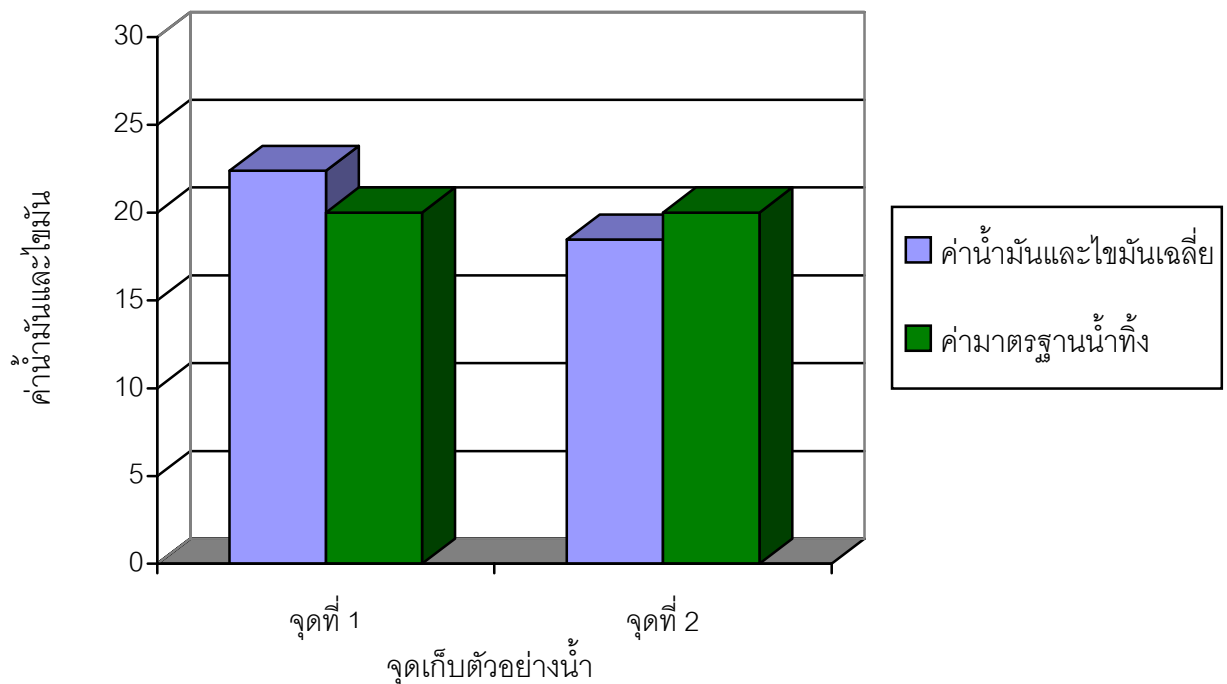
ตาราง 7 แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

จำนวน ตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 ⁽¹⁾ น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 ⁽²⁾ น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
$\bar{X}$	22.37	18.46	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	2.88	1.82	
Max	28.77	22.48	
Min	18.20	15.23	
ประสิทธิภาพในการลดค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ย (ร้อยละ)		17.47	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำเสียก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 7 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 22.37 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 18.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 17.47 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงค่าน้ำมันและก๊าซในน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 5 แสดงว่าค่าน้ำมันและก๊าซในน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 18.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรง วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

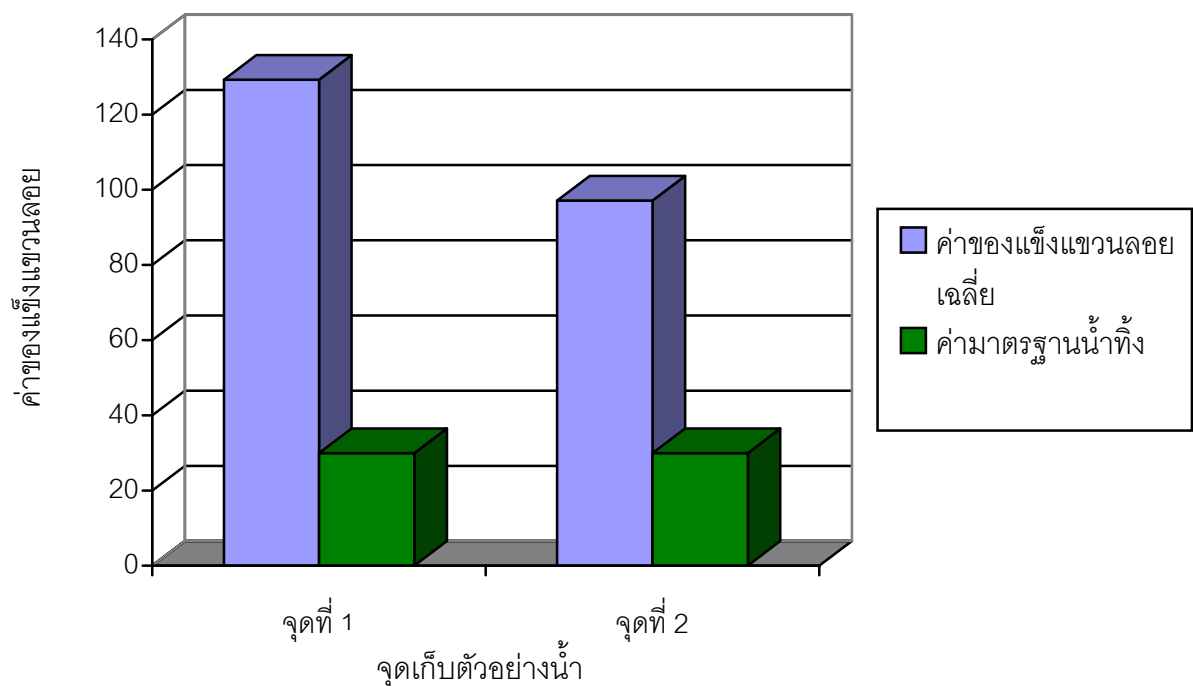
ตาราง 8 แสดงค่าของแรงแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 ⁽¹⁾ น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 ⁽²⁾ น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
$\bar{X}$	129.24	97.09	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	5.60	5.07	
Max	139.33	113.42	
Min	120.11	91.41	
ประสิทธิภาพในการลด ค่าของแขวนลอยเฉลี่ย (ร้อยละ)		24.94	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำเสียที่ก่อนทำการสูบน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 8 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าของแรงแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 129.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าของแรงแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 97.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าของแรงแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 24.94 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าของแรงแขวนลอยเฉลี่ยกับกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 6 แสดงว่าค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 97.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 9 แสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้โดยภาพรวม

คุณภาพน้ำจุดต่างๆ ของระบบบำบัด	ค่าพารามิเตอร์				
	ความเป็น กรด-ด่าง	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	น้ำมันและ ไขมัน (มก./ล.)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)
จุดที่ 1 น้ำเข้าระบบ	6.25	458.21	681.21	22.37	129.24
จุดที่ 2 น้ำออกจากระบบ	7.34	330.04	575.00	18.46	97.09
เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จากอาคาร	5.5-9	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30
ประสิทธิภาพในการ บำบัด (ร้อยละ)	17.44	27.97	15.59	17.47	24.94
ผลการเปรียบเทียบ คุณภาพน้ำทิ้งหลัง การบำบัดกับเกณฑ์ มาตรฐาน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

จากตาราง 9 แสดงว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย มีค่าร้อยละ 17.44, 27.97, 15.59, 17.47 และ 24.94 และผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ผลปรากฏว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าน้ำมันและไขมันมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนค่าบีโอดี ซีโอดี และค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตอนที่ 2 : การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนามาจากบทปฏิบัติการของสุรพล วิหคไพบุลย์ ซึ่งการพัฒนาครั้งนี้ได้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย 5 บท ดังนี้

- 1) บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 2) บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 3) บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- 4) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
- 5) บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ตรวจสอบพิจารณาทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพ ปรากฏผลดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

บทปฏิบัติการ ที่	รายการประเมิน				$\bar{X}$	S.D.	ผลการ ประเมิน
	เอกสาร ประกอบบท ปฏิบัติการ (ใบความรู้)	บท ปฏิบัติการ	รายงานผล การทดลอง และคำถาม ท้ายบท ปฏิบัติการ	คู่มือ ประกอบบท ปฏิบัติการ			
1	4.13	4.33	4.06	4.35	4.22	0.14	ดีมาก
2	4.08	4.04	4.17	4.05	4.09	0.06	ดี
3	4.20	4.42	4.57	4.37	4.39	0.15	ดีมาก
4	4.24	4.29	4.57	4.15	4.31	0.18	ดีมาก
5	4.17	4.18	4.33	4.20	4.22	0.07	ดีมาก
ภาพรวม	4.16	4.25	4.34	4.22	4.24	0.08	ดีมาก

จากตาราง 10 ผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน สรุปได้ว่า บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ และบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีคะแนนเฉลี่ยเป็น 4.22, 4.39, 4.31 และ 4.22 มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ มีคะแนนเฉลี่ยเป็น 4.09 มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับดี และโดยภาพรวมคุณภาพของบทปฏิบัติการทั้งฉบับมีค่าคะแนนเฉลี่ยเป็น 4.24 ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก

2. การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง 3 ครั้ง สรุปผลได้ดังนี้

ครั้งที่ 1 ทดลองกับนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 3 คน ซึ่งประกอบไปด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2550 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน ผลจากการสัมภาษณ์นักเรียนปรากฏว่านักเรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับเก่ง และปานกลางสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้ค่อนข้างรวดเร็วมีข้อผิดพลาดน้อยเนื่องจากส่วนหนึ่งมีพื้นฐานด้านการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์มาในระดับหนึ่ง และเข้าใจภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการ สื่อความหมายได้ตรงกับจุดประสงค์การทดลองที่กำหนด ส่วนนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยอยู่ในกลุ่มอ่อน การปฏิบัติกิจกรรมเป็นไปด้วยความล่าช้าเนื่องจากไม่เข้าใจในเนื้อหาของบทปฏิบัติการ ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการเข้าใจยากส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจในกิจกรรมการทดลอง ขาดความมั่นใจในการปฏิบัติประกอบกับนักเรียนไม่มีความคุ้นเคยกับวิธีการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การปฏิบัติกิจกรรมไม่ต่อเนื่องและผลการทดลองผิดพลาดจากความเป็นจริง ผู้วิจัยจึงนำบทปฏิบัติการมาปรับแก้ในส่วน of ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการให้มีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียนและเพิ่มความชัดเจนในส่วนเนื้อหาบทปฏิบัติการให้ดียิ่งขึ้น

ครั้งที่ 2 ทดลองกับนักเรียนกลุ่มย่อย จำนวน 9 คน ประกอบด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2550 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน ผลปรากฏว่า นักเรียนสามารถปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเสร็จตามเวลาที่กำหนด ผลการทดลองถูกต้องเนื่องจากมีความเข้าใจในเนื้อหาของบทปฏิบัติการมีการแบ่งหน้าที่ในการปฏิบัติกิจกรรม และปรึกษารื้อกันระหว่างสมาชิกภายในกลุ่ม ตลอดจนบทบาทของครูผู้สอนที่เพิ่มขึ้นในการให้คำแนะนำ บอกกล่าว และเสริมแรงในบางโอกาสส่งผลให้นักเรียนมีความมั่นใจในการปฏิบัติกิจกรรม กล้าแสดงออกในทางที่เหมาะสมผลการทดลองที่ได้จึงมีความถูกต้องและตรงกับความเป็นจริง

ครั้งที่ 3 ทดลองกับนักเรียนกลุ่มใหญ่ จำนวน 30 คน ประกอบด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2550 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน โดยให้นักเรียนกลุ่มทดลองทำคำถามทำยบทปฏิบัติการของบทปฏิบัติการแต่ละบท และทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังการเรียนด้วยบทปฏิบัติการเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละของคะแนน จากคำถามทำยบทปฏิบัติการ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

แบบทดสอบ	นักเรียน กลุ่มทดลอง	คะแนนเต็ม	สัญลักษณ์	ค่าสถิติ	ร้อยละ
คำถามทำยบทปฏิบัติการ	30	50	$\bar{X}$ S.D.	40.13 6.15	80.26
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน	30	60	$\bar{X}$ S.D.	48.43 5.83	80.71

จากตาราง 11 สรุปได้ว่า การทำคำถามทำยบทปฏิบัติการที่ 1-5 เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนกลุ่มทดลองได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.26 และจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.71 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80

ทดลองสอนบทปฏิบัติการกับนักเรียน จำนวน 100 คน เพื่อหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้โดยนักเรียนทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

จากนั้นนำคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มาหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.21-0.79 มีค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.21-0.82 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่า 0.98 แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.22-0.79 ค่าอำนาจจำแนก 0.23-0.89 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ มีค่า 0.98

ตอนที่ 3 : การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

1. การศึกษาผลการทดลองใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 แล้ว นำไปสอนจริงกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างโดยศึกษาผลการทดลองสอนด้วยบทปฏิบัติการในประเด็น ดังต่อไปนี้

1.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ปรากฏผลดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

การทดสอบ	n	$\bar{X}$	S.D	t	df	p
ก่อนเรียนบทปฏิบัติการ	40	26.28	4.68	42.82*	39	.000
หลังใช้บทปฏิบัติการ	40	32.50	4.75			

*t (.05; df 39) = 1.684)

จากตาราง 12 พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เท่ากับ 26.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เท่ากับ 32.50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ปรากฏผลดังตาราง 13

ตาราง 13 แสดงคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

การทดสอบ	n	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D	t	df	p
หลังใช้บทปฏิบัติการ	40	83.88	33.55	4.50	7.80*	39	.000

*t (.05; df 39) = 1.684)

จากตาราง 13 พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เท่ากับ 33.55 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 83.88 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย และอนุภาคแขวนลอย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นสามารถสรุปสาระสำคัญ และผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอย
2. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
3. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ดังนี้
 - 3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - 3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

สมมติฐานของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดสมมติฐานไว้ ดังนี้

1. คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร
2. นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
3. นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนได้ดำเนินการ ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1. เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state)

2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 สูบน้ำจากบ่อรวมน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นำไปเก็บไว้ในถังหมักแบบใช้ตัวกลางจากขดพลาสติคเหลือใช้เพื่อทำการบำบัด สูบน้ำที่ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียระบบอื่นๆ เพื่อทำการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำซึ่งเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบให้อยู่ในสภาวะคงที่แล้วด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง คือวันพฤหัสบดี ตั้งแต่เวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 24 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้งหมด 2 จุด คือ จุดน้ำเข้าระบบ และจุดน้ำออกจากระบบ

จุดที่ 1 น้ำเข้าระบบ คือ น้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒก่อนสูบน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด

จุดที่ 2 น้ำออกจากระบบ คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังหมักโดยใช้ตัวกลาง

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการจะกระทำภายในเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว

2.3 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ

2. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนานวัตกรรม

3. นำผลการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ และการพัฒนานวัตกรรมมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผ่านการตรวจพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ และทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มทดลองจำนวน 3 ครั้ง คือ 3 คน 9 คน และ 30 คน พร้อมเก็บประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

ตอนที่ 3 นวัตกรรมปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นและผ่านการหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ไปทดลองสอนจริงกับกลุ่มตัวอย่าง

1. นวัตกรรมปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง
2. ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง
3. ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนวิเคราะห์ข้อมูลโดยการพรรณนาข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร
2. การพัฒนานวัตกรรมปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย วิเคราะห์โดยการหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สูตร E1/E2 (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528: 295)
3. การสร้างเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ในการวิจัยมีดังนี้
 - 3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - 3.1.1 หาดัชนีความสอดคล้อง (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 73)
 - 3.1.2 วิเคราะห์ความยากง่าย และอำนาจจำแนก โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เตห์ ฟาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EVANA 4.0
 - 3.1.3 หาคความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 197-198)
 - 3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - 3.2.1 หาดัชนีความสอดคล้อง (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 73)
 - 3.2.2 วิเคราะห์ความยากง่าย และอำนาจจำแนก โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เตห์ ฟาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EVANA 4.0
 - 3.2.3 หาคความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 197-198)

4. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

4.1 สมมติฐานในการวิจัย “คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร” ทดสอบโดยใช้สถิติพรรณนา ในการพรรณนาข้อมูลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

4.2 สมมติฐานการวิจัย “นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน” ทดสอบโดยใช้สถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

4.3 สมมติฐานการวิจัย “นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70” ทดสอบโดยใช้สถิติแบบ t - test One group Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

สรุปผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการวิจัยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.25 ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.34 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.09 ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 17.44 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งความเป็นกรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 5.5-9 พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ระหว่างเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.2 ค่าบีโอดี จากการวิจัยพบว่าค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 458.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 330.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 128.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 27.97 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งบีโอดีมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเกิน

กว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.3 ค่าซีไอดี จากการวิจัยพบว่าค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 681.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 575.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าซีไอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 106.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 15.59 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งซีไอดีมีค่าไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.4 ค่าน้ำมันและไขมัน จากการวิจัยพบว่าค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 18.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 3.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 17.47 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งน้ำมันและไขมันมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.5 ของแข็งแขวนลอย จากการวิจัยพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 97.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 32.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 24.94 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของแข็งแขวนลอยมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2. การพัฒนาบทปฏิบัติการ

2.1 ด้านคุณสมบัติของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่าในส่วนของเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) บทปฏิบัติการ เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง และคู่มือประกอบบทปฏิบัติการมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ทั้งนี้เนื่องจากได้ผ่านการศึกษา ค้นคว้าจากเอกสาร หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มาตรฐานการเรียนรู้ช่วงชั้นที่ 3 และผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ มีการปรับปรุงแก้ไขให้มีความสอดคล้องกัน

2.2 ด้านประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่าบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการดังกล่าวมีคุณภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

3. การทดลองสอน

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เท่ากับ 26.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ เท่ากับ 32.50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเท่ากับ 33.55 คิดเป็นร้อยละ 83.88 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

การอภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยครั้งนี้ เสนอตามลำดับผลการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. อภิปรายผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 โดยวัดได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การบำบัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีเนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีสภาพเป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลางได้ ซึ่งถือว่า

สภาพดังกล่าวมีความเหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย สอดคล้องกับเสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2525: 163) กล่าวว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพที่ดีควมมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างในช่วงนี้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน จากผลการวิจัยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 6.25 เป็น 7.34 ส่งผลให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร เนื่องจากกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียจะเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเซลล์แบคทีเรียใหม่ส่งผลให้ไฮโดรเจนไอออนลดลง คุณภาพน้ำจึงมีสภาวะเป็นกลางมากขึ้น สอดคล้องกับเกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539: 227) กล่าวว่า การลดลงของไฮโดรเจนไอออนในน้ำเสียโดยเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมากขึ้นเนื่องจากค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำเสีย

นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร เป็นผลเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากโรงอาหารและอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย ดังนั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ตรวจวัดได้ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดจึงมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาตรฐานของน้ำทิ้งจากอาคารอยู่แล้วโดยสภาพความเป็นกรดดังกล่าวเกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำของนิสิต เจ้าหน้าที่ อาจารย์และบุคลากรทางการศึกษาของมหาวิทยาลัย การชำระล้างสิ่งสกปรกโดยการใช้น้ำยาล้างจาน น้ำยาล้างห้องน้ำ ผงซักฟอก รวมไปถึงสารเคมีในห้องปฏิบัติการ ส่งผลให้น้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีการปนเปื้อนของสารเคมีอยู่ แต่มีในปริมาณน้อยเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจึงมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่เป็นกลางผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารที่กำหนด

1.2 ค่าน้ำมันและไขมัน

การบำบัดค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีเนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.37 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 18.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร เนื่องจากกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นแหล่งอาหารและพลังงานภายในถังหมักเพื่อกระบวนการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสียมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ค่าสกปรกของน้ำเสียลดลงด้วย (อรรถวุฒิ อิมพุลทรัพย์ และคณะ. 2536: 49) สอดคล้องกับงานวิจัยของรังสี บัณฑิต (2546: 60) ที่ศึกษาการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชนิดไม่เติมอากาศแบบใช้พลาสดิกเป็นตัวกลางซึ่งทดสอบกับน้ำเสียชุมชนจากอาคารโรงอาหาร พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าน้ำมันและไขมันอยู่ใน

เกณฑ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร พบว่า น้ำเสียดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

นอกจากนี้ ค่าไขมันและไขมันของน้ำเสียหลังการบำบัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ยังเป็นผลเนื่องจากการปนเปื้อนของไขมันและไขมันในน้ำเสียก่อนบำบัดมีปริมาณไม่สูงมากนัก สังเกตได้จากปริมาณไขมันและไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจับตัวอยู่อย่างไม่หนาแน่น จากการตรวจวิเคราะห์ในจุดที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากการติดตั้งบ่อดักไขมันบริเวณโรงอาหารเพื่อกำจัดไขมันบางส่วนที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำออกจากน้ำเสียทำให้ระบบบำบัดในการบรรทุกสารอินทรีย์ประเภทไขมันในปริมาณน้อยประสิทธิภาพในการบำบัดจึงมีค่าร้อยละ 17.47 คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

การบำบัดน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากโรงอาหารการตรวจวิเคราะห์ค่าไขมันและไขมันมีความสำคัญมาก เนื่องจากการใช้วัตถุดิบในการประกอบอาหาร เช่น ไขมันหมู ไขมันพืช เนย กล้วยพืช และผลไม้บางชนิด การล้างภาชนะประกอบอาหาร รวมไปถึงกิจกรรมต่างๆ ในการใช้น้ำส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของไขมันและไขมันในน้ำซึ่งเป็นจำนวนมาก ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น และก่อให้เกิดความรำคาญแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งอีกด้วยเนื่องจากไขมันและไขมันจะพอกตัวสะสมอยู่ในท่อระบายน้ำทำให้เกิดการอุดตัน ระบายน้ำไม่สะดวก เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักร อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดน้อยลง

จากเหตุผลข้างต้นส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าไขมันและไขมันของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

ส่วนการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยโดยภาพรวมมีประสิทธิภาพร้อยละ 27.97, 15.59 และ 24.94 ตามลำดับ ไม่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอยให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ได้ จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งผู้วิจัยจะเสนอผลการอภิปรายต่อเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าไขมันและไขมัน ตามลำดับ ดังนี้

1.3 ค่าบีโอดี

การบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 27.97 สามารถลดปริมาณบีโอดีได้ 128.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 458.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 330.04 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลจากเนื่องจากแบคทีเรียสามารถยึดเกาะพื้นที่ผิวของตัวกลางขวดพลาสติกเหลือใช้โดยไม่หลุดออกนอกระบบ สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ใน

น้ำเสียจึงถูกแบคทีเรียดังกล่าวย่อยสลายโดยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ผลผลิตเป็นก๊าซต่างๆ โดยเฉพาะมีเทนซึ่งจะแยกออกจากระบบอย่างรวดเร็วเนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของสนอง ทองปาน (2540: 95) ที่ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยภายในถังหมักบรรจุตัวกลางที่ทำจากท่อพีวีซีเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียไหลปะปนมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของเชิดศักดิ์ อ่อนระยับ (2548: 57) ที่ได้ศึกษารูปแบบและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กสำหรับบ้านพักอาศัยของชุมชนริมน้ำ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพและสมรรถภาพการทำงานของถังกรองไร้อากาศที่บรรจุตัวกลางต่างชนิดกัน พบว่าตัวกลางพลาสติกมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีเท่ากับ 38.59% และขวดยาคูลท์มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีเท่ากับ 47.25% ตามลำดับ

เมื่อผู้วิจัยนำค่าบีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากภาระในการบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียในระบบมีมากกว่าจะบำบัดให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดได้ ประกอบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบขึ้นเพื่อลดความสกปรกของน้ำทิ้งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในระบบอื่น สอดคล้องกับมันสิน ตันทุลเวศน์ (2538: 46) กล่าวว่า ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางพลาสติกรูปแบบต่างๆ สามารถลดค่าบีโอดีก่อนที่จะส่งไปกำจัดบีโอดีที่เหลือในระบบอื่น สอดคล้องกับสุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ (2549: 117) กล่าวว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการขั้นต้นในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้น้อยลงโดยเฉพาะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของบีโอดีสูงๆ ก่อนที่จะส่งให้กระบวนการอื่น

1.3 ค่าซีโอดี

การบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 15.59 สามารถลดปริมาณซีโอดีได้ 106.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 681.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 575.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจากสารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายจนมีปริมาณลดลง ซีโอดีมีความสำคัญมากในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่มีแหล่งกำเนิดจากโรงอาหาร รองจากบีโอดีเนื่องจากซีโอดีเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียทั้งประเภทที่ย่อยสลายได้ ย่อยสลายได้ช้า และย่อยสลายไม่ได้โดยจุลินทรีย์ (สุรัสวดี บุบผะเรณู. 2542: 23) รวมถึงสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำเสียซึ่งบีโอดีไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากบีโอดีสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์เท่านั้น ซีโอดีจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียอีกค่าหนึ่งซึ่งวัดในเทอมของออกซิเจนดีมานด์

เช่นเดียวกับปีโอติ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2525: 45) ต่างกันที่ปีโอติใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ซีโอติใช้ตัวเต็มออกซิเจน ได้แก่ โพแทสเซียมไดโคเมตในการย่อยสลาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น สารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จากผลการวิจัยค่าซีโอติของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร จึงไม่สามารถระบายน้ำหลังผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องผ่านกระบวนการบำบัดในระบบอื่นต่อไป ซึ่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒใช้ระบบจานหมุนชีวภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียต่อจากระบบถังไร้ออกซิเจน (ชนิดใช้ตัวกลาง) ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา

เนื่องจากค่าซีโอติและค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์กันผู้วิจัยจึงได้นำผลที่ได้จากการศึกษา มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าซีโอติสูงกว่าค่าบีโอดี เนื่องจากซีโอติ เป็นการวัดปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดในน้ำเสีย ส่วนบีโอดีเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สอดคล้องกับกรณีการ สิริสิงห (2545: 207) กล่าวว่า โดยปกติแล้วค่าซีโอติจะสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอเนื่องจากสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการดูดซึมทางชีวของสารเหล่านั้น และค่าซีโอติจะสูงมากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ด้วย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีสูงกว่าการบำบัดค่าซีโอติเนื่องจากตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์มีจำนวนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก หรือสารอนินทรีย์ สอดคล้องกับงานวิจัยของกัลยา หรรษภิญโญ (2539: 83) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยวิธีขึ้นตัวกลางอัดบรรจุไร้อากาศ พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติจะมีค่าต่ำกว่าบีโอดีเนื่องจากน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นน้ำเสียชุมชนซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย ดังนั้นเมื่อนำน้ำเสียเข้าระบบบำบัดจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นๆ คงเหลือแต่สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก หรือสารไม่ย่อยสลายออกมากับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัด ซึ่งสามารถวัดได้ในรูปของซีโอติแต่ไม่สามารถวัดได้ในรูปของบีโอติทำให้ค่าที่วัดได้จึงมีค่าต่ำกว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีจึงสูงกว่าซีโอติ สอดคล้องกับงานวิจัยของชันวานี จิใจ (2549: บทคัดย่อ) ที่ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไผ่โดยระบบถังไร้ออกซิเจน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีและซีโอติเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 82.79-96.25 และ 74.91-96.13 ตามลำดับ

1.5 ค่าของแข็งแขวนลอย

การบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 24.94 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 32.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129.24 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 97.09 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจากการบำบัด

น้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนใช้จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้น้ำที่ผ่านระบบบำบัดมีคุณภาพสูงขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สูงเกินมาตรฐานส่งผลต่อการสะสมของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากของแข็งดังกล่าวไม่ละลายน้ำ และสามารถแขวนลอยอยู่ได้อย่างอิสระโดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายยาก สอดคล้องกับวิทยาเพียรวิจิตร (2525: 7) กล่าวว่า ของแข็งแขวนลอยสามารถมองเห็นและแขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ร้อยละ 70 และสารอนินทรีย์ร้อยละ 30 ส่งผลให้คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอยเกินกว่ามาตรฐานกำหนด หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า ระบบสามารถบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยให้มีปริมาณลดลงได้เป็นอันดับที่สองรองจากการบำบัดค่าบีโอดี เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในของแข็งแขวนลอยแม้ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทที่ย่อยสลายยากแต่บางส่วนก็สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ประกอบกับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้บรรจุตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอย สอดคล้องกับงานวิจัยของพรทิพย์ โชคสุชาติ (2540: 45) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของความสูงของชั้นตัวกลางต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงนมในระบบถังกรองไร้อากาศ พบว่า ถังปฏิกรณ์ที่มีความสูงของชั้นตัวกลาง 3/3 เท่าของความสูงถังสามารถกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 69.20 สอดคล้องกับงานวิจัยของเกรียงศักดิ์ คูหิรัญญรัตน์ (2535: 85) ที่ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียชนิดใช้ตัวกลางติดกับที่แบบถังกรองไร้ออกซิเจนสำหรับบำบัดอาคาร พบว่า น้ำเสียที่ผ่านถังกรองไร้ออกซิเจนมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 151.81 มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 41.66

จากการอภิปรายผลการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี น้ำมันและไขมัน และของแข็งแขวนลอยมีค่าร้อยละ 17.44, 27.97, 15.59, 17.47 และ 24.94 ตามลำดับ เนื่องจากขวดพลาสติกเหลือใช้ที่บรรจุภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะส่งผลให้ปริมาณและอายุของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นไม่หลุดออกนอกระบบขณะมีการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด สอดคล้องกับงานวิจัยของทัศนีย์ หลายสุคติ (2548: บทคัดย่อ) พบว่า ตัวกลางลูกบอลพลาสติกทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ลดการหลุดลอยของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบส่งผลให้อัตราการบำบัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์ดังกล่าวถูกใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตและสร้างพลังงาน สอดคล้องกับแนวคิดของกัลยา หรรษภิญโญ (2539: 5) กล่าวว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria) และประเภทที่สามารถดำรงชีวิตได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างกรดส่งผลให้ในระบบเกิดการสะสมของกรด ถ้ามีปริมาณมากจะกระทบ

ต่อกระบวนการสร้างมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากนั้นกรดที่สะสมในระบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ สอดคล้องกับเพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (2538: 275-280) กล่าวว่า การสะสมของกรดโวลไทล์ และไฮโดรเจนในปริมาณสูงจะยับยั้งการสร้างมีเทนได้จึงทำให้กรดโวลไทล์ถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิติก พอร์เมท ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยไฮโมอะซิโตเจนิค แบคทีเรีย จากนั้นจะมีแบคทีเรีย 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทนโดยเปลี่ยนไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และพอร์เมทให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และเปลี่ยนอะซิติกให้กลายเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ระบายออกนอกระบบ

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ต่ำทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก จำนวนตัวกลางขวดพลาสติก จำนวน 1,500 ใบ ซึ่งบรรจุอยู่ในระบบบำบัดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีปริมาตรไม่เพียงพอกับภาระการบรรจุสารอินทรีย์ของน้ำเสีย ส่งผลให้จำนวนจุลินทรีย์ในระบบมีจำนวนน้อยเกินไป จึงไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ประการที่สอง พื้นผิวของตัวกลางมีความละเอียดสูงส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของจุลินทรีย์มีน้อยกว่าปกติ ประกอบกับความพรุนของตัวกลางมีน้อยและตัวกลางถูกจัดเรียงอัดแน่นภายในตาข่าย ส่งผลให้การไหลเวียนของน้ำผ่านตัวกลางไม่สะดวกประสิทธิภาพการบำบัดจึงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ สอดคล้องกับเชิดศักดิ์ อ่อนระยับ (2548: 38) กล่าวว่า ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องมีพื้นที่ผิวมากและมีค่าความพรุนสูงเพื่อที่จะลดปัญหาการอุดตันตลอดจนปัญหาของการไหลลัดวงจรของน้ำเสียภายในระบบ

ประการที่สาม การสะสมของตะกอนในระบบส่งผลให้พื้นที่ผิวของตัวกลางบางส่วนซึ่งบรรจุอยู่ในตาข่ายจมอยู่ใต้ชั้นตะกอน และพื้นที่ผิวของตัวกลางส่วนใหญ่ยังถูกไขมันยึดเกาะจนสังเกตเห็นคราบได้ชัดเจนขณะที่ผู้วิจัยนำตัวกลางขึ้นจากถังหมักไร้ออกซิเจน สอดคล้องกับวิทยา คงแหลม (2545: 12) กล่าวว่า ไขมันและไขมันในน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบจะไปยึดเกาะติดอุปกรณ์ต่างๆ หรือในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเลี้ยงตะกอนติดกับตัวกลางไขมันและน้ำมันจะไปแย่งที่ยึดเกาะติดกับตัวกลางแทนจุลินทรีย์ทำให้การทำงานของระบบล้มเหลว นอกจากนี้ยังเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการทำ ความสะอาดอุปกรณ์ของระบบทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียลดน้อยลง

ประการที่สี่ ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียนี้น้อยเนื่องจากต้องระบายออกเพื่อรับน้ำเสียใหม่เข้ามาในระบบส่งผลให้แบคทีเรียดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่เสร็จสิ้นตามกระบวนการ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจึงมีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง

จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้โดยภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ต่ำ และส่งผลต่อคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งได้แก่ ค่าบีโอดี ซีโอดี และค่าของแข็งแขวนลอย

2. อภิปรายผลการพัฒนาบทปฏิบัติการ

2.1 ด้านคุณสมบัติของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการดังกล่าวโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ปรากฏว่าโดยภาพรวมคุณภาพของบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดีมากซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นได้คำนึงถึงความสะดวกคล่องในส่วนที่เกี่ยวกับเนื้อหาในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังคำนึงถึงความเหมาะสมของการทดลอง อุปกรณ์และสารเคมีที่หาง่ายในท้องถิ่นซึ่งสะดวกต่อการใช้ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองไม่มากนักเหมาะสมกับระดับชั้นที่ใช้ในการเรียนการสอน

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นแต่ละบทประกอบด้วยข้อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ หลักการ จุดประสงค์ สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการซึ่งทุกองค์ประกอบมีความเหมาะสม ชัดเจน มีความต่อเนื่องสัมพันธ์กันช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการคิดแล้วนำไปปฏิบัติที่ละขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งบทปฏิบัติการดังกล่าวที่พัฒนาขึ้นเป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนที่เน้นการทดลองซึ่งสามารถจูงใจให้นักเรียนสนใจในกิจกรรมปฏิบัติการทดลอง และช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับสภาพการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (สุจิต หงั่วสีไพร. 2547: 286) ซึ่งรูปแบบของบทปฏิบัติการเน้นการทดลองเป็นหลัก โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงภายใต้คำแนะนำ และการให้คำปรึกษาของครูผู้สอนส่งผลให้กิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ สอดคล้องกับแนวคิดของอารมณ บัญเชิดฉาย (2549: 64) กล่าวไว้ว่า การปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองเป็นกลุ่มตามความสนใจโดยมีครูเป็นผู้ให้คำคำแนะนำ สนับสนุน อำนวยให้กิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินไปด้วยความราบรื่น นักเรียนรู้จักรับผิดชอบในหน้าที่ตามที่ได้รับมอบหมาย เสริมสร้างศักยภาพของตนเอง สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน และท้องถิ่นได้ สอดคล้องกับแนวคิดของประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์ (2545: 70) กล่าวว่า สภาพการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันเกี่ยวกับหลักสูตรท้องถิ่นนักเรียนสามารถถ่ายโยงความรู้ที่ได้

จากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเอง ครอบครัว บุคคลใกล้เคียง และชุมชนต่อไป

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีคุณภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้จัดการเรียนการสอนอยู่ในระดับดีมาก

2.2 ด้านประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด ซึ่งผลการวิจัยข้างต้นเป็นค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของคำถามทำบทปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 80.26 และค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 80.71 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีข้อมูลพื้นฐานมาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยผู้วิจัยได้เล็งเห็นคุณค่าและความสำคัญของการนำวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์เหมาะสมกับสภาพการณ์ปัจจุบันที่ว่าทุกสิ่งทุกอย่างรอบตัวสามารถประกอบเป็นสื่อการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มศักยภาพ และประสบการณ์ให้เกิดขึ้นกับตัวผู้เรียนได้ นอกจากคุณค่าและความสำคัญดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยยังได้คำนึงถึงความเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบกิจกรรม ระยะเวลาในการปฏิบัติการทดลอง ตลอดจน ความแตกต่างระหว่างบุคคล (ธีระพล อรุณะกสิกร และคณะ. 2543: 23) และความพร้อมในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนที่ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ และบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ รวมทั้งวัสดุ อุปกรณ์ที่นักเรียนจัดเตรียมเพื่อประกอบการทดลอง ซึ่งเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้เรียนเกิดจิตสำนึกในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม ตระหนัก และเห็นคุณค่าของทรัพยากรในท้องถิ่น ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้น สนใจ และมุ่งมั่นทำให้การทดลองดำเนินไปได้ด้วยดี ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำ และมีข้อผิดพลาดน้อย (พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. 2544: 56) สอดคล้องกับคณะกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ (2525. 134) กล่าวว่า การใช้วัสดุอุปกรณ์ในท้องถิ่นได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้วการทดลองจะดำเนินไปได้ด้วยดีและรวดเร็ว ที่สำคัญที่สุดคือผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำ และมีข้อผิดพลาดน้อย ส่งผลให้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยของฐานันท์ เมธิ์พลกุล (2542: 100) พบว่า บทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยา เรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล มีประสิทธิภาพ 86.40/82.67

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นคำนึงถึงสภาพ และปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน นักเรียนได้สัมผัสและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยใช้ประสาทสัมผัส สามารถเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด เสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน สอดคล้องกับภพ เลาหไพบุลย์

(2542: 168) กล่าวว่า การจัดกิจกรรมการทดลองทำให้นักเรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสมาช่วยในการแก้ปัญหา เป็นการเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้ และจดจำได้นาน นอกจากนี้การที่นักเรียนได้บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของการบำบัดน้ำเสีย ปฏิกิริยาค่านิยมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มีจิตสำนึกในการดูแลรักษา มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบปัญหา ร่วมกัน สอดคล้องกับบัณฑิต ดุลยรักษ์ (2542: 32) กล่าวว่า การจัดการศึกษาเพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ เรื่องสิ่งแวดล้อม ปัญหาสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมให้ผู้เรียนเกิดทัศนคติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม มีจิตสำนึก มีความตระหนักร่วมมือกันอนุรักษ์และพัฒนาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืนส่งผลให้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยของอัมพร กรุดวงษ์ (2548: 115) พบว่า การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ คือ 78.25/79.50

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบแก้ไข และผ่านการตรวจพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญในส่วนของเอกสาร ประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) บทปฏิบัติการ เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลองซึ่งผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดีมาก จากนั้นผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการดังกล่าวไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งมีความสามารถเก่ง ปานกลาง และอ่อน จำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ทดลองสอนกลุ่มย่อยกับนักเรียน 3 คน 1 กลุ่ม เพื่อตรวจสอบการรับรู้ข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดในบทปฏิบัติการแล้วนำข้อมูลต่าง ๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 จากนั้นทดลองสอนกลุ่มย่อยครั้งที่ 2 กับนักเรียน 9 คน 3 กลุ่มเพื่อปรับปรุงสืบเนื่องจากครั้งที่ 1 และทดสอบผลการเรียนรวมทั้งสามชั้น และสังเกตพฤติกรรมผู้เรียน แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 และครั้งสุดท้ายทดลองสอนกับนักเรียน 30 คน 6 กลุ่ม เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยของกานต์วิ ใจงาม (2545: 77) ที่ได้ศึกษาและพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การผลิตก๊าซไฮดรอกซิดจากพืชในห้องถื่น พบว่า การนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไปทดลองสอนกับกลุ่มย่อยจำนวน 3 คน และ 15 คน มีประสิทธิภาพในด้านความรู้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 79.16/82.79 สอดคล้องกับงานวิจัยของ ผ่องฤดี พวงประดิษฐ์ (2546: 71) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติจากใบพืชตามความนิยมของท้องถิ่น พบว่า การนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอนกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างแต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน และ 9 คน นักเรียนมีความสามารถในการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี ส่งผลให้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยของอรอุมา ละมุล (2541: 121) พบว่า บทปฏิบัติการ

วิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ มาตรฐานที่ตั้งไว้ คือ 80.27/80.11

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้บทปฏิบัติการ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย มีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด และมีความเหมาะสมจะนำไปใช้ในการสอนได้

3. อภิปรายผลการทดลองสอน

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก อีกทั้งได้ผ่านการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการซึ่งมีค่า 80.26/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด และมีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน สอดคล้องกับแนวคิดของประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์ (2545: 71) กล่าวว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ และคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีประกอบกับการพัฒนา และปรับปรุงบทปฏิบัติการก่อนนำไปสอนจริงส่งผลให้บทปฏิบัติการดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสอนได้ ส่งผลให้นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 56) พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง เทคนิคการแยกสาร มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นผู้วิจัยได้จัดให้นักเรียนปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน ซึ่งเป็นไปตามลักษณะและคุณสมบัติของผู้เรียนโดยคละกัันระหว่างนักเรียนที่มีความสามารถแตกต่างกันในด้านของผลการเรียนแต่ละวิชา (เก่ง ปานกลาง และอ่อน) ทำให้นักเรียนได้มีโอกาสมองแผนการทำงานร่วมกัน ปรีกษาหารือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายใต้กรอบการทำงานอย่างมีระบบ สอดคล้องกับสุดใจ เหง้าสีไพร (2547: 284) กล่าวว่า การสอนแบบกลุ่มนั้นทำให้ผู้เรียนเกิดความคุ้นเคยกับสมาชิกในกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนทัศนะ พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ฝึกการเป็นผู้นำ ผู้ตามที่ดี มีความรับผิดชอบในหน้าที่ที่ตนเองได้รับมอบหมาย ส่งเสริมความร่วมมือที่ดีไม่ส่งเสริมให้มีการแข่งขันอันนำมาซึ่งผลประโยชน์ร่วมกัน จากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่าในขณะที่นักเรียนปฏิบัติการทดลองนักเรียนที่เก่งกว่าจะคอยให้คำแนะนำ และช่วยเหลือต่อสมาชิกภายในกลุ่มซึ่งเป็นนักเรียนที่อ่อนกว่าเป็นระยะส่งผลให้กิจกรรมการทดลองดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ติดขัด สมาชิกทุกคนภายในกลุ่มไม่เว้นว่างจากกิจกรรมจึงสามารถทำหน้าที่ของตนเองได้จนประสบผลสำเร็จ สร้างความสัมพันธ์ที่ดีภายในกลุ่ม เกิดความ

ภาคภูมิใจในผลงาน เข้าใจเนื้อหาของกิจกรรมการทดลองเป็นอย่างดี มีจิตสาธารณะ ยอมรับจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอันนำมาซึ่งการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้เกิดขึ้นอย่างเต็มความสามารถ สอดคล้องกับแนวคิดของซิดดา พันธุ์ออน (2545: 135) กล่าวว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นสื่อการเรียนรู้ การสอนที่มีการจัดลำดับขั้นตอนอย่างเป็นระบบทั้งในส่วนที่เป็นความรู้ และส่วนที่เป็นกระบวนการช่วยดึงความสามารถของนักเรียนที่มีอยู่ให้สามารถแสดงออกมาได้อย่างเต็มที่ และช่วยให้มีความชำนาญในการใช้ความสามารถในด้านต่างๆ สอดคล้องกับแนวคิดของจันทร์จิรา จุมพลหล้า (2546: 115-116) กล่าวว่า การที่นักเรียนได้ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง และมีการทำงานเป็นกลุ่มจะมีการพัฒนาด้านสติปัญญา อารมณ์ และส่งเสริมให้มีความคิดเป็นเหตุเป็นผล นอกจากนี้ในขณะที่นักเรียนปฏิบัติการทดลองผู้วิจัยยังคอยให้คำปรึกษาแนะนำ และกระตุ้นให้นักเรียนแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ด้วยตนเองโดยยึดหลักความรู้ และระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับแนวคิดของพรยมล บัวศรี (2546: 102) กล่าวว่า การแสวงหาความรู้ด้วยตนเองโดยมีครูเป็นผู้ชี้แนะเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของฉัตรชัย วายูวรรณะ (2546: 78) พบว่า ผลการเรียนรู้ด้านความรู้ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว เมื่อเปรียบเทียบคะแนนผลการเรียนรู้ด้านความรู้ก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันของนักเรียน การเรียนการสอนที่เน้นเรื่องสิ่งที่อยู่รอบตัวทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงผ่านการลงมือปฏิบัติ สอดคล้องกับแนวคิดของจรัส อินทลาภาพร (2545: 127) กล่าวว่า การศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติการทดลองทำให้เกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง สามารถนำผลการเรียนรู้ที่ได้รับถ่ายทอดสู่สาธารณะชนในเชิงสร้างสรรค์ สอดคล้องกับประเวศ วะสี (2544: 10) กล่าวว่า การจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้กับผู้เรียนนั้นควรเป็นเรื่องใกล้ตัวเพื่อให้นักเรียนสามารถมองเห็นปัญหา และประยุกต์ผลการเรียนรู้ไปใช้ในชีวิตจริงประกอบกับบทปฏิบัติการดังกล่าวมีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียนและมีรูปแบบกิจกรรมที่แปลกใหม่ ซึ่งไม่เพียงแค่ผู้สอนเป็นผู้กำหนดรูปแบบกิจกรรมให้เท่านั้น นักเรียนซึ่งถือเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้อย่างมีโอกาสดแสดงออกถึงความคิด มีอิสระในการตัดสินใจถึงแบบแผนปฏิบัติการทดลองตามแบบเฉพาะของแต่ละกลุ่มภายใต้ระเบียบวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และความเข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีการบำบัดน้ำเสีย ก่อให้เกิดความหวงแหน เห็นคุณค่า และตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ (2531: 805) กล่าวว่า การจัดกิจกรรมสิ่งแวดล้อมเป็นเครื่องมือในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของนักเรียนไปในทางที่ดีให้มีความเข้าใจ และเห็นคุณค่าของธรรมชาติและการอนุรักษ์ไม่เป็นผู้ทำลาย

และช่วยกันดูแลป้องกันไม่ให้ผู้อื่นทำลายธรรมชาติ ส่งผลให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนอย่างแท้จริง นอกจากนี้สารเคมีและอุปกรณ์การทดลองซึ่งหาง่าย และมีอยู่ในท้องถิ่นซึ่งถูกเตรียมขึ้นจากการมีส่วนร่วมของนักเรียนส่งผลให้ผู้เรียนมีการวางแผนปฏิบัติการทดลองล่วงหน้า สร้างความตื่นตัว ความสนใจ กระตุ้นความต้องการในการประกอบกิจกรรมให้เกิดผลสำเร็จ สอดคล้องกับแนวคิดของพรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 169) กล่าวว่า การนำทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาสัมพันธ์กับบทเรียนทำให้นักเรียนมีความสนใจ กระตือรือร้นที่จะศึกษาเพราะเห็นความสำคัญและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ส่งผลให้นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของอรทัย ศรีสมชัย (2547: 73) พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วย บทปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมศึกษาในโรงเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นการสนับสนุนสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนที่เนื้อหาในแต่ละบทปฏิบัติการมุ่งให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองทำการทดลองจริงอย่างเป็นระบบ และมีกระบวนการอย่างต่อเนื่อง มีการปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่มทำให้นักเรียนได้ร่วมมือกัน รู้จักแบ่งงานกันทำทั้งในด้านการวางแผนการทดลอง และการปฏิบัติการทดลอง (พรยมล บัวศรี. 2546: 104) ตลอดจนการนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน การมีส่วนร่วมดังกล่าวส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ภายในกลุ่ม ให้เกียรติซึ่งกันและกัน มีอิสระในการแสดงความคิด มีความกล้าแสดงออก ในการปฏิบัติกิจกรรม สร้างความเชื่อมั่น และความมั่นใจให้กับบุคคล ส่งเสริมความรับผิดชอบ ในหน้าที่ซึ่งได้รับมอบหมายให้ประสบผลสำเร็จอันนำมาซึ่งประโยชน์ร่วมกันภายในกลุ่ม ฉะนั้น นักเรียนทุกคนจึงมีความสำคัญ และมีความเสมอภาคในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองแม้ว่านักเรียนบางคนจะยังไม่เคยมีประสบการณ์ในการปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์แต่ก็ต้องพยายามศึกษาค้นคว้า และฝึกปฏิบัติเพื่อให้เกิดความรู้ ความชำนาญ และมีพัฒนาการในแนวโน้มที่ดีขึ้นจนสามารถ ดำเนินกิจกรรมการทดลองด้วยตนเองได้ สอดคล้องกับแนวคิดของพันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 57) กล่าวว่า กิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองโดยใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง ลงมือปฏิบัติการทดลอง บันทึกผล และสรุปผลการทดลอง การที่นักเรียนได้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ที่กำหนดไว้ในบท

ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองทั้งหมดทำให้นักเรียนได้รับเนื้อหาทั้งในส่วนที่เป็นตัวความรู้ และทักษะปฏิบัติการทดลอง ส่งผลให้นักเรียนที่เข้าปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 สอดคล้องกับงานวิจัยของทวิช แจ่มจำรัส (2545: 77) พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง น้ำสกปรกจากวัสดุเหลือใช้ในห้องถิ่นมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ การสอนที่มีการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีการวางแผน และกำหนดเป้าหมายการทดลองอย่างเป็นระบบทำให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมด้วยความมุ่งมั่น และตั้งใจอย่างเต็มศักยภาพส่งผลให้ได้มาซึ่งความรู้ ความสามารถ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับแนวคิดของนันทยา ใจตรง (2548: 147) กล่าวว่า การเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ดีต้องเริ่มต้นจากการวางแผนกระบวนการทางความคิดให้เข้าใจแล้วจึงสะท้อนออกมาทางความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง นอกจากนี้การได้รับความช่วยเหลือ และกำลังใจในการปฏิบัติการทดลองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ตลอดจนคำแนะนำและการชมเชยของผู้สอนส่งผลให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการปฏิบัติการทดลองให้ประสบผลสำเร็จโดยไม่ย่อท้อต่อการปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ให้ผู้เรียนทราบถึงระดับความสามารถของตนเองว่ามีอยู่ในระดับใดซึ่งสามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งยังเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง (จิรพรรณ ทะเยียว. 2543: บทคัดย่อ) นอกจากนี้การนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียนซึ่งผู้เรียนต้องปรึกษาหารือ และแสดงความคิดเห็นร่วมกันทำให้เกิดการถ่ายทอดประสบการณ์ที่ได้รับจากการปฏิบัติการทดลองส่งผลให้สมาชิกภายในกลุ่มเกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาเรื่อง การบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น ลดช่องว่างความแตกต่างระหว่างบุคคลทั้งในด้านความรู้ และทักษะกระบวนการของสมาชิกภายในกลุ่ม ขณะที่เสนอผลการทดลองสมาชิกแต่ละกลุ่มสามารถแสดงความคิดเห็น และซักถามในประเด็นที่เป็นข้อสงสัยต่อผู้นำเสนอ โดยครูผู้สอนจะเป็นผู้สรุปประเด็นต่างๆ และคอยกระตุ้นให้สมาชิกแต่ละกลุ่มมีส่วนร่วมกับการเรียนการสอนให้มากที่สุดและสรุปเนื้อหาที่สำคัญร่วมกับผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับพิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ (2545: 98) กล่าวว่า การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นกระบวนการคิดนั้นผู้สอนสามารถฝึกให้ผู้เรียนได้คิดโดยใช้คำถามกระตุ้นซึ่งคำถามต่างๆ นั้นสามารถพัฒนาให้ผู้เรียนเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประเภทต่างๆ ได้ สอดคล้องกับแนวคิดของจันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช (2536: 10) กล่าวว่า การได้ตอบคำถามช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน และการที่นักเรียนได้ทำการทดลองทำให้ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ส่งผลให้นักเรียนที่เข้าปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นมากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 สอดคล้องกับ

งานวิจัยของวารี บุญลือ (2550: 67) พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีขั้นตอนการสอนที่ช่วยให้นักเรียนฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่การวางแผนการทดลอง การลงมือปฏิบัติการทดลอง การบันทึกและสรุปผลการทดลอง และการตอบคำถามท้ายการทดลอง ทำให้นักเรียนเกิดประสบการณ์ตรงจากการปฏิบัติส่งผลให้เกิดการสังสมพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านต่างๆ อันนำไปสู่การพัฒนาความคิด และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่องจนสามารถแสดงออกได้โดยอัตโนมัติ สอดคล้องกับแนวความคิดของอรอุมา ละมุล (2541: 122) กล่าวว่า ขั้นตอนของการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนสูงขึ้น เพราะได้รับการฝึกปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอจนเกิดความคล่องแคล่ว และชำนาญ ด้วยเหตุนี้ทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ด้านการสังเกต การวัด การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และการทดลองถูกส่งเสริมให้มีแนวโน้มในการพัฒนาอย่างเป็นระบบ จากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่านักเรียนปฏิบัติการทดลองอยู่ในกรอบอภิปรายก่อนการทดลองของครูผู้สอน และศึกษาเอกสารประกอบการทดลองอย่างมีลำดับขั้นตอน ปฏิบัติการทดลองด้วยความมีระเบียบแบบแผน มีความพยายาม ทุ่มเทสามารถเลือกใช้สารเคมีและอุปกรณ์ประกอบการทดลองได้อย่างถูกต้อง มีอิสระในการปฏิบัติการทดลอง สอดคล้องกับสุเทพ อุสาหะ (2526: 68) กล่าวว่า การสอนแบบฝึกปฏิบัติโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนหยิบจับ และเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดลองด้วยตนเองทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้กฎเกณฑ์ และข้อเท็จจริงที่อยู่รอบๆ ตัวได้อย่างลึกซึ้งรวดเร็วโดยผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรง และยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พบหลักการ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้อย่างอิสระ สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติการทดลองได้ด้วยตนเองทั้งในส่วนของ การออกแบบการทดลอง สารเคมีและอุปกรณ์ รูปแบบการนำเสนอผลการทดลองหรือแม้เทคนิคเฉพาะในแต่ละบทปฏิบัติการ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่า นักเรียนมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองโดยการปฏิบัติซ้ำเพื่อให้เกิดความแน่ใจในผลการทดลองที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของณัฐวรรณ เขียมขำ (2549: 90) กล่าวว่า การที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองตามขั้นตอนต่างๆ ที่กำหนดไว้ รวมทั้งมีการแก้ไขปัญหา และลงมือปฏิบัติหลายครั้งจนเกิดความชำนาญส่งผลต่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความรู้อย่างแท้จริงให้อยู่คู่กับนักเรียนด้วยความยั่งยืนส่งผลให้นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นมากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 สอดคล้องกับงานวิจัยของธนวรรณ โสมน้อย (2548: 79) พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง จุลินทรีย์ที่ใช้ใน

การย่อยสลายสีย้อมผ้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นการสนับสนุนสมมติฐานข้อที่ 3 ที่ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

1.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1.1 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติก ไปใช้ ควรมีการคำนวณปริมาตรน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดให้มีค่าพอดีกับปริมาตรของขวดพลาสติกรวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บน้ำเสียเพื่อให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจนเสร็จสิ้นกระบวนการ

1.1.2 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติก ไปใช้ น้ำทิ้งที่ผ่านระบบควรทำการบำบัดต่อเนื่องในระบบต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้มากยิ่งขึ้นก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

1.1.3 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติก ไปใช้ ถังหมักที่ใช้บรรจุตัวกลางต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับบรรจุตัวกลางและควรรองรับน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดต่างๆ สัมพันธ์กับระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย

1.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1.2.1 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดใช้ตัวกลางพลาสติกที่ระดับต่างๆ ภายในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1.2.2 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดใช้ตัวกลางจากวัสดุชนิดต่างๆ เช่น ขวดน้ำโพลาลิทร ซังข้าวโพด และอิฐมอดู เป็นต้น

1.2.3 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกโดยเปลี่ยนชนิดของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เช่น น้ำเสียจากโรงงาน น้ำเสียจากคลองแสนแสบ เป็นต้น

2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน

2.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

2.1.1 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้ในการเรียนการสอนครูผู้สอนควรศึกษาและทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อให้ได้ผลการทดลองทุกครั้ง นอกจากนี้เมื่อนำบทปฏิบัติการไป

ใช้กับนักเรียนครูควรชี้แจง แนะนำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องปฏิบัติเพื่อความเร็ว และถูกต้องของการทดลอง

2.1.2 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้โดยครูผู้สอนหรือผู้ที่สนใจ ควรศึกษารายละเอียดของบทปฏิบัติการ และศึกษาเพิ่มเติมจากคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ เพื่อจะได้ให้คำแนะนำนักเรียนได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพในการเรียนการสอนมากยิ่งขึ้น

2.1.3 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้ในการเรียนการสอนควรมี การปรับปรุงรูปแบบกิจกรรมหรือแก้ไข ดัดแปลงให้มีความสอดคล้องกับสภาพการณ์ของท้องถิ่นเพื่อให้นักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.2.1 ควรศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย กับตัวแปรอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น จิตสำนึกทางสิ่งแวดล้อม เจตคติทางสิ่งแวดล้อม และจิตวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.2.2 ควรนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับ นักเรียนระดับชั้นต่างๆ

2.2.3 ควรนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปทดลองใช้เป็นแนวทางในการทำ โครงการสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.2.4 ในการออกแบบการทดลองควรออกแบบให้รัดกุม เช่น ใช้แบบแผนการทดลอง ประเภท One - Group Pretest - Posttest Design

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2537). คู่มือผู้ให้บริการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย เล่มที่ 4 ใน โครงการจัดทำคู่มือดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียและการใช้มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.
- _____. (2547). ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร. สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2550 จาก <http://www.pcd.go.th>.
- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2537). คู่มือตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. (2525). เคมีน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: บริษัทประยูรวงศ์การพิมพ์ จำกัด.
- _____. (2545). เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิชาการพิมพ์.
- กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. (2545). น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภา.
- กองวิชาการศึกษา กรมวิชาการ. (2535). รายงานการวิเคราะห์รูปแบบนวัตกรรมการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพระดับมัธยมศึกษา. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2542). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.
- _____. (2544). หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.
- กัลยา หรรษภิญโญ. (2539). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยวิธีชั้นตัวกลางอัดบรรจุไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- กานต์วี ใจงาม. (2545). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การผลิตแก๊สไฮโดรเจนในท้องถิ่น. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- เกรียงศักดิ์ คูหิรัญญรัตน์. (2535). การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียชนิดติดกับที่แบบถังกรองไร้ออกซิเจนสำหรับภาคครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- เกษม จันทรแก้ว. (2541). เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณะกรรมการพัฒนาการสอน และผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์. (2525). ชุดเสริม

ประสบการณ์สำหรับครูวิทยาศาสตร์. ทบวงมหาวิทยาลัย.

จันทร์จิรา จุมพลหล้า. (2546). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบ
สารอาหารในเห็ดภูฐาน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม.
(วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
ถ่ายเอกสาร.

จันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช. (2536). ประมวลบทความหลักสูตรสาระร่วมสมัย. กรุงเทพฯ: น้อมศรีเคท.

จรัส อินทลาภาพร. (2545). การพัฒนาทปฏิบัติการเรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นม
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา).
กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

จิรพรรณ ทะเขียว. (2543). การเปรียบเทียบทักษะภาคปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการ
เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่สอนโดยใช้ชุดกิจกรรมอุปกรณ์
วิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครู. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ฉัตรชัย วายุวรรณะ. (2546). การพัฒนาทปฏิบัติการเรื่อง การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวสำหรับ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ชลิตา พันธุ์ออน. (2545). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบ
คุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาหมัก. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ชาติชาย ชายตระกูล. (2548). การศึกษาประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส.
ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

เชิดศักดิ์ อ่อนระยับ. (2548). การศึกษารูปแบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก
สำหรับบ้านพักอาศัยของชุมชนริมน้ำ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม).
พิษณุโลก: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร. ถ่ายเอกสาร.

ชนวนี จิใจ. (2549). การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยในลอนโดยระบบ
ถังไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

ฐานันท์ เมธิพลกุล. (2542). การสำรวจปลาทะเลที่หาเทียบเรือประมงชุมพรเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เสริมสร้างความรู้ชีววิทยาเรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ณัญจนา ภูววรรณ และคณะ. (2544). การวัดประสิทธิภาพของตัวกลางระบบ Submerged Anaerobic Fixed - Film Reactor สำหรับน้ำเสียอาคารสูง. กรุงเทพฯ: โครงการทาง วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ณัฐวรรณ เขี่ยมข้า. (2549). การพัฒนาคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้ สหรัยเป็นตัวบ่งชี้สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 2. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ทัศนา หลายสุขศิริ. (2548). ประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์โดยใช้ตัวกลางลูกบอลพลาสติกสำหรับ บำบัดน้ำเสียโรงนม. วิทยานินพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

ทวิช แจ่มจำรัส. (2545). การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง น้ำสกัดชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น กรณีศึกษาโรงเรียนบ้านพุร้อนน้ำร้อน จังหวัดสุพรรณบุรี. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์. (2531). หลักสูตร และการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมในโรงเรียน. ใน เอกสาร ประกอบการสอน วิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อม สำหรับโรงเรียนและชุมชน หน่วยที่ 8-15. หน้า 805. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ธงชัย พรธณสวัสดิ์ และคณะ. (2525). น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน.

ธนวรรณ โสมน้อย. (2548). การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ธีระพล อรุณะภัสกร และคณะ. (2543). รวบรวม พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: พิมพ์วิญญูชน.

- นันทยา ใจตรง. (2548). *ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยด้านคุณลักษณะทางจิตพิสัยที่ส่งผลต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การวิจัยและสถิติทางการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- นิฐุสนา บินนิมะ (2549). *การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดตัวกลางชนิดเส้นใยในล่องนโดยระบบเลี้ยงตะกอน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- บัณฑิต ดุลยรักษ์. (2542). *กิจกรรมการเรียนรู้การสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษา*. ปัตตานี: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บำรุง กลัดเจริญ. (2524). *ปรัชญาการศึกษาเบื้องต้น*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2528). *การพัฒนาหลักสูตรและการสอน*. มหาสารคาม: ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.
- ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์. (2545). *ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การแปรรูปและทดสอบเรื่องสารอาหารในพืชสมุนไพร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ประวิตร ชูศิลป์. (2524). *หลักการประเมินผลวิทยาศาสตร์แผนใหม่*. เอกสารการนิเทศการศึกษา ฉบับที่ 233 หน่วยศึกษานิเทศก์. กรุงเทพฯ: กรมฝึกหัดครู.
- ประเวศ วะสี. (2544). ยุทธศาสตร์สู่ความสำเร็จของการศึกษาไทย. ใน *การปฏิรูปการเรียนรู้*. หน้า 10 กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ผ่องฤดี พวงประดิษฐ์. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง การย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีธรรมชาติจากใบพืชตามความนิยมของท้องถิ่น*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พรยมล บัวศิริ. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง สารและสมบัติของสารสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

- พรทิพย์ โชคสุชาติ. (2540) การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของความสูงของชั้นตัวกลางต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงนมในระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2529). การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- _____. (2538). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง เทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. ปรินญาณินพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พิชิต ฤทธิ์จำรูญ. (2545). หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอ้าส์ ออฟ เคอร์รี่ส์.
- พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ (2545). การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.
- เพชรพร ชาวกิจเจริญ. (2538). ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ใน การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. หน้า 274-301. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพฑูรย์ สีนลารัตน์. (2523). หลักและวิธีการสอนระดับอุดมศึกษา. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- ภพ เลหาะไพบูลย์. (2537). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- _____. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- ภัทรา นิคมานนท์. (2540). การประเมินผลการเรียน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท อักษราพัฒนา จำกัด.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. (2525). การออกแบบขั้นตอนกระบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีวภาพ เล่มที่ 2 โมเดลทางจุลศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____. (2538). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____. (2538). เทคนิคการบำบัดน้ำเสีย. ใน การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. หน้า 38-47. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____. (2542). เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รังสี ปัดลี. (2546). ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชนิดไม่เติมอากาศแบบใช้พลาสติกเป็นตัวกลาง.

ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ระพีพันธ์ ศรีรามมี. (2544). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดอย่างมีเหตุผลเชิงวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาสังคมศึกษาโดยการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิซึ่มกับการสอนแบบแก้ปัญหา. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม.

(การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2538). เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

_____. (2539). เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ลัดดาวัลย์ กัณหาสุวรรณ. (2535). คู่มือพัฒนาการสอนสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์.

วารีย์ บุญลือ. (2550). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

วิทยา คงแหลม. (2545). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านจำหน่ายอาหารด้วย *Pseudomonas fluorescens*. วิทยานิพนธ์ สศ.ม. (อนามัยสิ่งแวดล้อม). ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.

วิทยา เพียรวิจิตร. (2525). เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วีระ ตั้งชาวล. (2545). เคมีของน้ำและการบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศศิธร มงคลทอง. (2548). การพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่อง น้ำเพื่อชีวิต สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ศุภพงศ์ คล้ายคลึง. (2545). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทดลองโดยใช้ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. สารนิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2526). ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

- สนอง ทองปาน. (2540). การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง
บำบัดตัวเอง: กรณีศึกษาเพื่อพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม
ศึกษา. ปรินญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สมเกียรติ แก้วจรัสสุสันต์. (2544). การพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมเรื่อง
การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์
บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ. ปรินญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สมจิต สวณไพบุณย์. (2541). เอกสารคำสอนวิชา กว.571 การประชุมปฏิบัติการสอนวิทยาศาสตร์.
กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมนึก ภัททิยธนี. (2537). การวัดผลการศึกษา. กาฬสินธุ์: ประสานการพิมพ์.
- สมบุญพร พรหมภพ. (2535). ปรัชญาการศึกษาเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาศรีรัฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. (2543). กรอบวิสัยทัศน์ และ
ทิศทางแผนพัฒนาศรีรัฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9. สำนักงานคณะกรรมการการ
พัฒนาศรีรัฐกิจ และสังคมแห่งชาติ สำนักงานกฤษฎามนตรี.
- _____. (2545). สรุปสาระสำคัญ แผนพัฒนาศรีรัฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545 –
2549. สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาศรีรัฐกิจ และสังคมแห่งชาติ สำนักงานกฤษฎามนตรี.
- เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2525). การกักตุนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแหล่ง
ชุมชน. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สุดใจ เห่งสีไพร. (2547). พื้นฐานทางเทคโนโลยีของการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาเทคโนโลยีทาง
การศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุรพล วิทศไพบุณย์. (2543). การพัฒนารูปแบบปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สุรัสวดี นุบพะเรณู. (2542). การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมือง
เพชรบุรีโดยวิธีห้ำกรองน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. (2517). การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด. กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. (2549). เทคโนโลยีน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ อูสาหะ. (2526). การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา. ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. (2528). วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ:

สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

องค์การจัดการน้ำเสีย. (2540). หลักการจัดการน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 9 มกราคม 2549 จาก <http://www.wma.or.th>

องอาจ นัยพัฒน์. (2548). วิธีวิทยาการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สามลดา.

อมรวิทย์ นาคกรทรรพ. (2545). รายงานสภาวะการศึกษาไทยต่อประชาชน ปี 2545: ปมปฏิรูป.

พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักงานกฤษฎมนตรี

อรรถวุฒิ อิมพุลทรัพย์ และคณะ. (2536). รายงานสถานการณ์เรื่อง การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับคราบน้ำมันตามแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

อรรถ ศรีสมชัย. (2547). การพัฒนาทปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมศึกษาในโรงเรียนมัธยม. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อรอุมา ละมุล. (2541). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อัมพร กรุดวงษ์. (2548). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง พลังงานความร้อนสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อาจหาญ กันนูลา. (2545). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้สารส้ม และระยะเวลาในการกวนเพื่อบำบัดน้ำเสียขั้นต้นทางเคมีของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อารมณ บุญเชิดฉาย. (2549). การพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่อง การกำจัดขยะมูลฝอยสำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

เอ็มอัชฌา วัฒนบุรานนท์. (2547). *วิทยาศาสตร์สุขภาพสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
อโนทัย อุเทนสุต. (2538). *องค์การจัดการน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ
สิ่งแวดล้อม.

Al-Ruwashid, Mohammed Suliman. (1984, March). The Effect of a Lecture Only and Lecture
Laboratory Approach on Riyadh Junior College Saudi Arabia Chemistry Students
Achievement and Attitude. *Dissertation Abstract International*. 39: 1357- A.

Gable, Dorothy L., & Rubba, Peter A. (1977, October-December). The Effect of Early
Teaching and Training on Physics Achievement Attitude Towards Science and
Science Teaching and Process Skills Proficiency. *Science Education*. 61: 503-511.

Kabayashi, HA., Stenstrom, M.K. & Mah, R.A. (1983, June). Treatment of Low Strength
Domestic Wastewater Using the Anaerobic Filter. *Water Research Technique*. 17(8): 903-909.

Macbeth, Douglas Russel. (1974, January). The Extent to Which Pupils Manipulate of
Process Skills in Elementary School Science. *Journal of Research in Science
Teaching*. 11(1): 45-51.

Pretorius, W.A. (1971). Anaerobic Disestion of Raw Sewage. *Water Research*. 5: 681-687.

Rilay, J.P. (1975, February). The Effect of Science Process Training on Pre-Science Teacher's
Process Skills Abilities Understanding of Science and Teaching. *Dissertation
Abstract International*. (35): 5152-A.

Roman, V. & Chaklaclor, N. (1972, March). Upflow Filter for Septic Tank Effluents. *Journal
Water Pollution Control Fed*. 44(8): 1560-1562.

Roman, V. & Khan, A.N. (1978). *Upflow Anaerobic Filter A Simple Sewage Treatment
Device*. Bangkok: Water Pollution Control in Developing Countries Proceedings
of the International Conference Asian Institute of Technology.

Smith, Patty Templeton. (1994, January). Instructional Method Effects on Students Attitude
and Achievement. *Dissertation Abstract International*. 54(7): 2528-A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

ตาราง 14 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้
ออกซิเจนชนิดใช้ตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้

วัน เดือน ปี ที่ทดลอง	จุดเก็บน้ำ จุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์				
		pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
20 เม.ย. 50	1	6.04	412.00	628.60	20.50	128.20
	2	7.56	296.00	536.00	17.41	104.21
3 พ.ค. 50	1	6.10	425.75	654.40	18.20	133.50
	2	7.67	309.00	563.00	16.42	113.42
10 พ.ค. 50	1	6.05	454.80	574.60	18.20	130.28
	2	7.88	338.00	483.00	15.23	95.23
17 พ.ค. 50	1	6.42	474.20	562.32	19.30	124.30
	2	6.97	358.00	471.00	17.41	98.41
24 พ.ค. 50	1	6.35	438.34	539.22	21.72	124.52
	2	7.47	356.00	447.00	17.82	93.68
31 พ.ค. 50	1	6.24	453.12	587.34	23.31	135.44
	2	7.60	332.00	494.00	18.04	97.23
7 มิ.ย. 50	1	6.25	474.90	583.41	20.62	120.11
	2	7.52	320.00	495.00	17.36	93.52
14 มิ.ย. 50	1	6.15	494.30	594.70	23.52	133.16
	2	7.30	296.00	516.00	18.21	97.70
21 มิ.ย. 50	1	6.25	485.00	659.00	20.41	123.35
	2	7.26	364.00	557.00	17.01	101.32
28 มิ.ย. 50	1	6.15	520.20	682.25	22.26	138.41
	2	7.31	396.00	549.00	19.56	105.10
5 ก.ค. 50	1	6.28	575.23	795.38	23.51	133.52
	2	7.77	436.00	703.00	18.94	98.94

ตาราง 14 (ต่อ)

วัน เดือน ปี ที่ทดลอง	จุดเก็บน้ำ จุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์				
		pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
12 ก.ค. 50	1	6.12	552.25	738.92	28.77	135.34
	2	7.32	424.00	646.00	22.48	100.03
19 ก.ค. 50	1	6.90	415.75	720.24	21.56	127.25
	2	7.13	294.00	629.00	17.23	95.521
26 ก.ค. 50	1	6.24	424.56	694.31	20.83	128.45
	2	7.45	307.00	540.00	17.52	97.23
2 ส.ค. 50	1	6.22	435.56	683.25	25.26	120.64
	2	6.95	315.00	545.00	20.57	91.41
9 ส.ค. 50	1	6.32	453.21	652.22	20.44	120.43
	2	6.84	332.00	530.00	18.12	91.84
16 ส.ค. 50	1	6.25	423.00	757.26	25.62	128.35
	2	7.31	302.00	666.00	20.23	93.31
23 ส.ค. 50	1	6.31	442.31	782.34	22.25	132.24
	2	7.63	320.00	653.00	19.41	95.66
30 ส.ค. 50	1	6.28	423.50	725.38	25.31	129.22
	2	6.92	296.00	586.00	20.34	93.89
6 ก.ย. 50	1	6.23	454.62	738.31	27.32	139.33
	2	7.34	333.00	599.00	21.49	97.36
13 ก.ย. 50	1	6.12	463.21	731.22	25.13	135.44
	2	7.05	290.00	639.00	19.95	96.66
20 ก.ย. 50	1	6.23	438.26	778.38	18.24	124.52
	2	6.95	308.00	665.00	15.42	92.01
27 ก.ย. 50	1	6.25	435.66	746.33	20.38	130.31
	2	7.43	303.00	639.00	17.31	94.86

ตาราง 14 (ต่อ)

วัน เดือน ปี ที่ทดลอง	จุดเก็บน้ำ จุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์				
		pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
4 ต.ค. 50	1	6.31	427.41	739.53	24.26	125.33
	2	7.56	296.00	649.00	19.56	91.72

ภาคผนวก ข

วิธีเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีไอดี และซีไอดี

วิธีเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)

วิธีการเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. สารละลายบัฟเฟอร์ ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.4 กรัม โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม และ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางได้ปริมาตร 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous CaCl_2) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.25 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
7. สารละลายอัลคาไล-ไอโอด-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide reagent) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอดได์ (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไอโอดได์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตรและละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น
8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (36 นอร์มัล)
9. น้ำแป้ง ละลายแป้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที ตั้งค้ำคืนใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัม ต่อน้ำแป้ง 1 ลิตร
10. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัมในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมน้ำได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

11. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

12. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล ละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

13. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.0250 นอร์มัล ละลายโซเดียมซัลไฟต์ปราศจากน้ำ (Na_2SO_3) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

การคำนวณหาค่าบีโอดี (BOD)

$$\text{BOD}_5 = (\text{DO}_0 - \text{DO}_5) \times \text{อัตราส่วนเจือจาง}$$

DO_0 = ค่าดีไอ (DO) ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วในวันที่ 0

DO_5 = ค่าดีไอ (DO) ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วในวันที่ 5

วิธีการเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

ด้วย วิธีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method)

วิธีการเตรียมสารเคมีเพื่อวิเคราะห์หาค่าซีโอดี มีขั้นตอนการเตรียมดังต่อไปนี้

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ละลายโพแทสเซียมไดโครเมตซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมงหนัก 4.913 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

2. กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต ซึ่งซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมดก่อนนำไปใช้ต่อไป

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 19.6 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายเฟอโรซีนไดเคเตออร์ ละลาย 1,10-ฟีแนนทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. กรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) ใช้สำหรับการป้องกันการรบกวนของไนไตรต์ (NO_2) ปริมาณที่ใช้คือ 10 มิลลิกรัมต่อทุกๆ 1 มิลลิกรัมของไนไตรต์

6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลต (Potassium Hydrogenphthalate หรือ KHP) บด KHP เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ และละลาย KHP ที่บดและอบแห้งแล้ว 425 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร

7. สารละลายกลูโคส ละลายกลูโคส 486.6 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

การคำนวณค่าหาค่าซีโอดี

$$\text{COD} = \frac{(a - b) \times N \times 8,000}{\text{ml Sample}}$$

a คือ มิลลิลิตรของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

b คือ มิลลิลิตรของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตสารละลายมาตรฐาน

N คือ นอร์มัลลิตีของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

- รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย
- ตัวอย่างสำเนาหนังสือขอความอนุเคราะห์

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการแนะนำ และตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

1. รองศาสตราจารย์ นิภา ศรีไพโรจน์

ภาควิชาวัดผลและประเมินผลทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2. รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จันทรีไพแสง

สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

3. อาจารย์ ดร. สุนันทา มนัสมงคล

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ฝ่ายมัธยม)

4. อาจารย์ พิพัฒน์ เกิดปราโมทย์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเซนต์ดอมินิก

5. อาจารย์ เวธกา หนูเพชร

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนนาคنوانาอุปถัมภ์



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บันทึกวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5730

ที่ ศธ 0519.12/3 ๑/๕

วันที่ ๑๕ พฤษภาคม 2551

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)

เนื่องด้วย นายวรวัฒน์ ทิพจ้อย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการมัธยมศึกษา (การสอน
สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การศึกษา
ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 2” โดยมี อาจารย์สนอง ทองปาน และ อาจารย์สมปอง ใจดีเลิศ เป็นคณะกรรมการ
ควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บันทึกวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์สุนันทา มนัสมงคล
เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแผนการสอน / บทปฏิบัติการ / แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้
นายวรวัฒน์ ทิพจ้อย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

๒๕๕๑ C

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างแบบประเมินบทบาทปฏิบัติกร เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

แบบประเมินคุณภาพ
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

โดย : ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการมี 5 บท แต่ละบทประกอบด้วย 4 ส่วน

ส่วนที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

ส่วนที่ 2 บทปฏิบัติการ

ส่วนที่ 3 เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

ส่วนที่ 4 คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการ

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการทั้ง 5 บท โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างในตัวเลข 5 4 3 2 และ 1 ตามความหมาย ดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด

4 หมายถึง เห็นด้วยมาก

3 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

2 หมายถึง เห็นด้วยน้อย

1 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการเหล่านี้
 โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการ					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ					
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน					
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน					
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม					
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม					
4.5 ข้อเสนอแนะในการอธิบายก่อนการทดลองเหมาะสม					
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม					
4.7 อธิบายหลังการทดลองเหมาะสม					
4.8 การใช้ภาษา					
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
4.8.2 ไม่วกวน					
4.8.3 ชวนอ่าน					
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน					
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการเหล่านี้
โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการ					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ					
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน					
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน					
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม					
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม					
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม					
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม					
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม					
4.8 การใช้ภาษา					
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
4.8.2 ไม่วกวน					
4.8.3 ชวนอ่าน					
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน					
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการเหล่านี้
 โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการ					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ					
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน					
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน					
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม					
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม					
4.5 ข้อเสนอแนะในการอธิบายก่อนการทดลองเหมาะสม					
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม					
4.7 อธิบายหลังการทดลองเหมาะสม					
4.8 การใช้ภาษา					
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
4.8.2 ไม่วกวน					
4.8.3 ชวนอ่าน					
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน					
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการเหล่านี้
 โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการ					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ					
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน					
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน					
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม					
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม					
4.5 ข้อเสนอแนะในการอธิบายก่อนการทดลองเหมาะสม					
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม					
4.7 อธิบายหลังการทดลองเหมาะสม					
4.8 การใช้ภาษา					
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
4.8.2 ไม่วกวน					
4.8.3 ชวนอ่าน					
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน					
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการเหล่านี้
 โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการ					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ					
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน					
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน					
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม					
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม					
4.5 ข้อเสนอแนะในการอธิบายก่อนการทดลองเหมาะสม					
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม					
4.7 อธิบายหลังการทดลองเหมาะสม					
4.8 การใช้ภาษา					
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
4.8.2 ไม่วกวน					
4.8.3 ชวนอ่าน					
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน					
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์					
ข้อเสนอแนะ.....					
.....					
.....					

ภาคผนวก จ

- บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
- คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

คำนำ

บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ฉบับนี้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนแก่นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในรายวิชา ว 32101 บทปฏิบัตินี้เน้นปฏิบัติการทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่ายในท้องถิ่น ซึ่งจะทำให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติจริงโดยหวังว่าจะเกิดจิตสำนึก และสามารถความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันเพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการจุดประกายให้ครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ นำไปใช้เป็นแบบอย่างหรือแนวทางในการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการในท้องถิ่น

ในบทปฏิบัตินี้มีทั้งหมด 5 บทปฏิบัติการ ในแต่ละบทประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ ชื่อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ได้ทันทีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นปฏิบัติการทดลอง จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในทักษะต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ได้มากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างบทปฏิบัติการที่นำเสนอครั้งนี้เป็นเพียงแนวคิดหรือแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในการปฏิบัติการทดลองเท่านั้น นักเรียน และผู้ที่สนใจสามารถเลือกปฏิบัติตามความสนใจ และความพร้อมของโรงเรียนหรือสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในแต่ละท้องถิ่นได้ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัตินี้ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพโรงเรียนของตนเอง และเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตต่อไป

คำแนะนำการใช้บทปฏิบัติการ

การใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีข้อควรปฏิบัติและความเข้าใจ ดังนี้

1. บทปฏิบัติการ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนแก่นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในรายวิชา ว 32101 โดยอาศัยคำอธิบายรายวิชามาพัฒนาแนวคิดในการสร้างบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้
2. ระยะเวลาในการเรียนการสอนในบทปฏิบัติการนี้ คือ 10 คาบ คาบละ 50 นาที
3. ผู้เรียนตามบทปฏิบัติการนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
4. ผู้สอนที่จะใช้บทปฏิบัติการนี้ควรเป็นครูที่สอนในวิชาวิทยาศาสตร์
5. บทปฏิบัติการนี้ควรใช้ควบคู่กับคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้น
6. ควรดำเนินการเรียนการสอนเรียงลำดับจากบทปฏิบัติการที่ 1 ไปจนถึงบทปฏิบัติการที่ 5 ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการสุดท้าย
7. ในส่วนที่เป็นเนื้อหา และบทปฏิบัติการสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นได้

เนื้อหาของบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย เป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ว 32101
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เน้นการเรียนรู้การสอนในลักษณะปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย 5 บทปฏิบัติการ
คือ

1) หน่วยการเรียนรู้ที่	1	เรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่	1	เรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
2) หน่วยการเรียนรู้ที่	2	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
บทปฏิบัติการที่	2	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
3) หน่วยการเรียนรู้ที่	3	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
บทปฏิบัติการที่	3	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
4) หน่วยการเรียนรู้ที่	4	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
บทปฏิบัติการที่	4	เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
5) หน่วยการเรียนรู้ที่	5	เรื่อง	การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
บทปฏิบัติการที่	5	เรื่อง	การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 15 แสดงการแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน

ครั้งที่	จำนวนคาบ	เนื้อหา	การประเมิน
1	2	บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
2	2	บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
3	2	บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
4	2	บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
5	2	บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

หลังการใช้บทปฏิบัติการประเมินผลการเรียนรวมด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 1

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

สาระสำคัญ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นเป็นการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การสังเกตรวมทั้งการใช้อุปกรณ์ และสารเคมีที่หาได้ง่าย ลักษณะทางกายภาพของและลักษณะทางเคมีของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้ เช่น อุณหภูมิ สี กลิ่น ตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม และมีค่าต่างจากเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้งก็หมายความว่าน้ำนั้นมีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่มากเรียกน้ำนั้นว่า “น้ำเสีย”

น้ำเสีย มีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน
2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ ธาตุต่างๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็นแต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส
3. โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น ปปรอท โครเมียม และทองแดงปกติจะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร
4. ไขมันและน้ำมัน เมื่อปนมากับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำทำให้เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชพร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง
5. ของแข็ง อาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ซึ่งเมื่อจมลงแล้วทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
6. สี และความขุ่น มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชในแหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง สัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
7. กรด-ด่าง น้ำที่มีคุณภาพดีจะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5.5-9
8. จุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียถ้ามีจำนวนมากทำให้ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงจนทำให้เกิดการเน่าเสีย



ภาพประกอบ 2 แสดงน้ำเสีย
(ที่มา ; <http://web.ku.ac.th>)

ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น มีดังนี้

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแสดงเป็นตัวเลขที่บอกระดับความเป็นกรดหรือด่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้า pH มีค่าเป็น 7 แสดงว่ามีสภาวะเป็นกลาง ถ้า pH มีค่า 0-7 แสดงว่าน้ำนั้นเป็นกรด ตัวเลขที่ลดลงแสดงถึงความแรงของที่เพิ่มขึ้น ถ้า pH มีค่า 7-14 แสดงว่ามีสภาวะเป็นด่าง ตัวเลขที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงความแรงของด่าง โดยทั่วไปค่า pH ของน้ำทิ้งมีค่าระหว่าง 5.5-9 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่า pH คือ กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

2. อุณหภูมิ แสดงถึงระดับความร้อนของน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดได้จากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงลงสู่แหล่งน้ำหรือการที่แสงส่องผ่านลงไปแหล่งน้ำ อุณหภูมิมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยสิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไป และยังส่งผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนจะลดลง ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ คือ เทอร์โมมิเตอร์

3. กลิ่น ในน้ำกลิ่นเกิดจากสาเหตุหลายประการเช่น จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ มนุษย์รับกลิ่นได้โดยการดมแต่บอกเป็นปริมาณตัวเลขว่ามีกลิ่นมากน้อยเพียงใดนั้นยังไม่มีวิธีมาตรฐานเพียงแคกำหนดขีดจำกัดว่าต้องไม่รบกวนและอันเป็นที่น่ารังเกียจเท่านั้น

4. สี ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มองเห็นนั้นเป็นสีปรากฏมาจากแสงที่ส่องลงในน้ำเกิดการกระจายของแสงโดยโมเลกุลน้ำกลับเข้าสู่ตาเรา การที่ปรากฏสีของแหล่งน้ำเป็นสีต่างกันเพราะอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยในน้ำสามารถดูดกลืนและกระจายแสงกลับคืนสู่ตาเราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและขนาดของอนุภาคซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำที่สะอาดต้องไม่มีสี

5. ตะกอน คือปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเกิดจากดินละเอียด สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงค์ตอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สารพวกนี้จะทำให้เกิดการก่อกองและดูดกลืนแสงซึ่งโดยทั่วน้ำสะอาดจะไม่มีสารปนเปื้อนของสารดังกล่าว

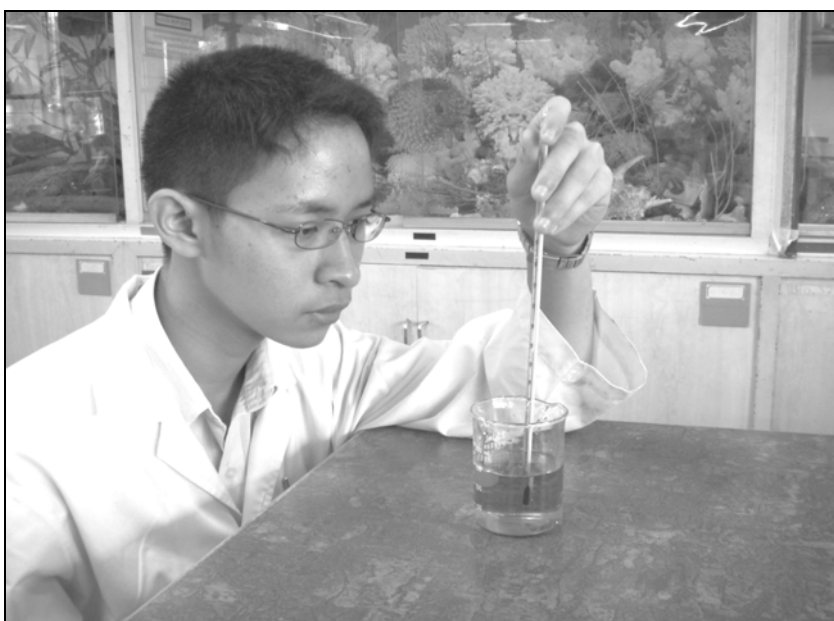
วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

1. การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ใช้แท่งแก้วจุ่มน้ำตัวอย่างนำมาแตะที่กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จากนั้นสังเกตสีที่เปลี่ยนเทียบกับสีมาตรฐานที่กำหนด การอ่านเลขที่ตรงกับสีจะต้องอ่านภายในเวลา 30 วินาที สีที่เปลี่ยนหลัง 30 วินาที จะเป็นค่าที่ผิดพลาด

2. การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมมิเตอร์โดยให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์จุ่มอยู่ในสิ่งนั้นหรือสัมผัสกับสิ่งที่จะวัดให้มากที่สุดและก้านของเทอร์โมมิเตอร์ต้องตั้งตรงเมื่อระดับของเหลวที่อยู่ในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว จึงอ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว และเทอร์โมมิเตอร์ยังจุ่มอยู่ในสิ่งที่ต้องการวัด



ภาพประกอบ 3 แสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโดยใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์



ภาพประกอบ 4 แสดงวิธีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

3. การตรวจสอบกลิ่น ใช้การดมโดยการนำน้ำตัวอย่างใส่ปิกรยยกขึ้นให้อยู่ในระดับจมูกใช้มือพัดบริเวณเหนือปิกรยให้กลิ่นของน้ำตัวอย่างเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม

4. การตรวจสอบสี และตะกอน ใช้การสังเกตด้วยสายตาหากเป็นน้ำสะอาดต้องไม่มีสี และตะกอนปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

บทปฏิบัติการที่ 1

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

หลักการ

น้ำเสีย คือ น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม กลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการนำมาใช้อุปโภค บริโภคไม่ได้มีผลกระทบต่อธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของน้ำ สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การสังเกตรวมทั้งการใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่หาได้ง่าย ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น สี กลิ่น ตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะดังกล่าวของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมและมีค่าต่างจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน ก็หมายความว่าน้ำนั้นเป็นน้ำเสียมีสิ่งปนเปื้อนปนอยู่มากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมา

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
2. นักเรียนสามารถบอกคุณภาพของน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีได้
3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

สารเคมีและอุปกรณ์ ต่อ 1 กลุ่ม

1. น้ำกลั่น	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำเสียจากชุมชน	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำประปา	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำล้างจาน	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำส้มสายชู	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. น้ำยาล้างห้องน้ำ	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. น้ำสบู่	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
8. น้ำคลองแสนแสบ	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
9. น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
10. น้ำซักผ้า	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

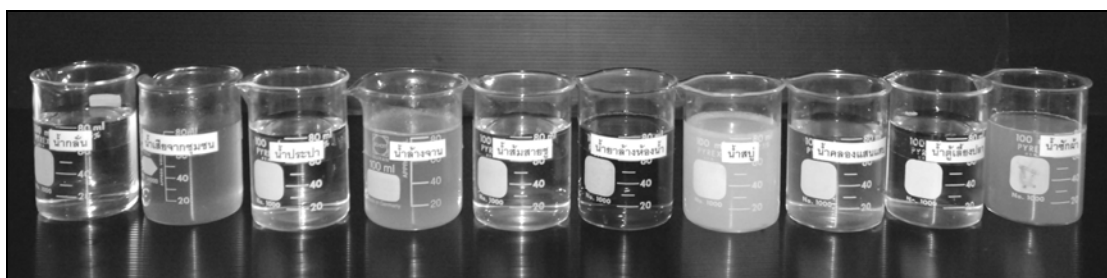
11. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	10 แผ่น
12. เทอร์โมมิเตอร์	1 อัน
13. ปีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ใบ
14. แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
15. แผ่นกระจก	1 แผ่น
16. กระบอกแก้วตวง ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1 อัน

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. นำปีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 10 ใบ นำน้ำเสียจากชุมชน น้ำประปา น้ำล้างจาน น้ำส้มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำสบู่ น้ำคลองแสนแสบ น้ำจากตู้เลี้ยงปลา น้ำซักผ้า ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงไปในปีกเกอร์ละ 1 ชนิด เขียนชื่อน้ำตัวอย่างติดข้างปีกเกอร์ทุกใบ
2. นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด ทันทีก่อนนำมาทดลองแล้วบันทึกผล
3. สังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
4. ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
5. นำข้อมูลค่าอุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง จากตารางมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน น้ำทิ้งที่กำหนด สรุปผลการทดลอง และนำข้อมูลเขียนกราฟเปรียบเทียบ

หมายเหตุ มาตรฐานน้ำทิ้งในการทดลองนี้ใช้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน 1 กระทรวง
วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537



น้ำกลั่น น้ำเสียจากชุมชน



น้ำประปา น้ำล้างจาน



น้ำดื่มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ



น้ำสบู่ น้ำคลองแสนแสบ



น้ำตูเลี้ยงปลา น้ำซักผ้า

ภาพประกอบ 5 แสดงน้ำตัวอย่าง 10 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำประปา น้ำล้างจาน น้ำดื่มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำสบู่ น้ำคลองแสนแสบ น้ำตูเลี้ยงปลา และน้ำซักผ้า

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

ชื่อผู้ทดลอง

1 2
3 4
5

วัน/เดือน/ปี..... ชื่อกลุ่ม..... ห้อง.....

จุดประสงค์การทดลอง

1.....
2.....
3.....

ตารางบันทึกผล การสังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่าง

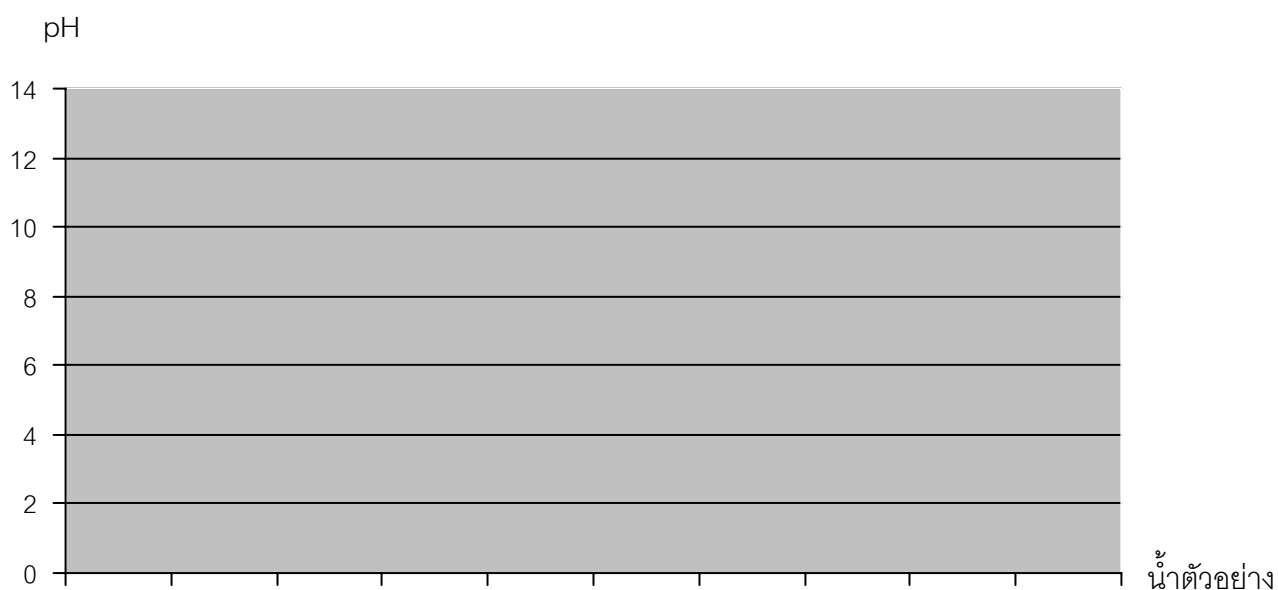
น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน	
	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
น้ำกลั่น						
น้ำเสียจากชุมชน						
น้ำประปา						
น้ำล้างจาน						
น้ำส้มสายชู						
น้ำยาล้างห้องน้ำ						
น้ำสบู						
น้ำคลองแสนแสบ						
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา						
น้ำซักผ้า						

ตารางบันทึกผล การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ

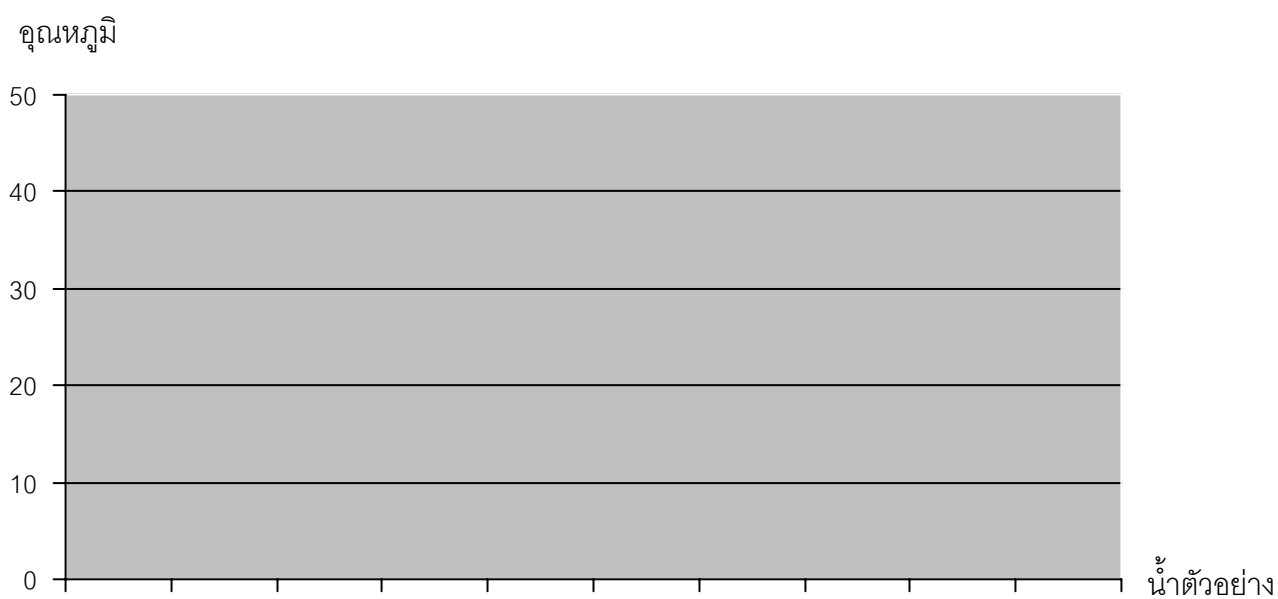
น้ำตัวอย่าง	ค่ามาตรฐานของน้ำ	
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5-9	อุณหภูมิ (°C) ไม่เกิน 40
น้ำกลั่น		
น้ำเสียจากชุมชน		
น้ำประปา		
น้ำล้างจาน		
น้ำส้มสายชู		
น้ำยาล้างห้องน้ำ		
น้ำสบู่		
น้ำคลองแสนแสบ		
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา		
น้ำซักผ้า		

สรุปผลการทดลอง

1. สี.....
.....
2. กลิ่น.....
.....
3. ตะกอน.....
.....
4. ค่า pH.....
.....
5. อุณหภูมิ.....
.....



กราฟแสดง pH ของน้ำตัวอย่างเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน



กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. น้ำในข้อใด ไม่ควรนำมาใช้บริโภค
 - ก. น้ำที่มีค่า pH = 7
 - ข. น้ำที่ความขุ่นเล็กน้อย
 - ค. น้ำที่มีกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์
 - ง. น้ำที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
2. วิธีการใดแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำได้อย่างเหมาะสม
 - ก. เขียนกราฟ
 - ข. เขียนแผนภูมิ
 - ค. เขียนแผนภาพ
 - ง. เขียนเป็นตาราง
3. ข้อใดเป็นตัวอย่างของน้ำสะอาดและน้ำเสียตามลำดับ
 - ก. น้ำกลั่น น้ำประปา
 - ข. น้ำคลองแสนแสบ น้ำสบู
 - ค. น้ำประปา น้ำยาล้างห้องน้ำ
 - ง. น้ำซักผ้า น้ำจากตู้เลี้ยงปลา
4. น้ำสะอาดควรมีค่า pH เท่าใด
 - ก. 2
 - ข. 4
 - ค. 5
 - ง. 7
5. น้ำตัวอย่างชนิดใดมีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน
 - ก. น้ำกลั่น น้ำประปา
 - ข. น้ำส้มสายชู น้ำสบู
 - ค. น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำประปา
 - ง. น้ำซักผ้า น้ำคลองแสนแสบ

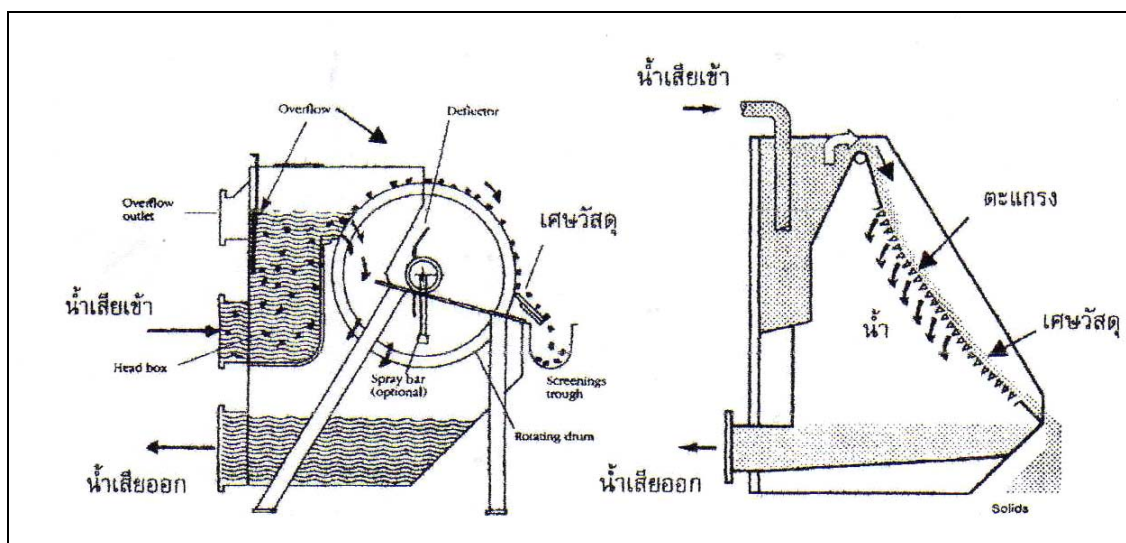
6. น้ำชนิดใดมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำกลั่นมากที่สุด
- น้ำซักผ้า
 - น้ำจากสบู่
 - น้ำส้มสายชู
 - น้ำคลองแสนแสบ
7. น้ำที่จากร้านเรือนส่วนใหญ่มีสิ่งใดเจือปนอยู่
- โลหะหนักที่เป็นพิษ
 - สารละลายผงซักฟอก
 - จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค
 - น้ำมันจากการปรุงอาหาร
8. น้ำทิ้งที่มีปริมาณสารเคมีตกค้างอยู่มาก อาจทำให้สัตว์น้ำมีอันตรายถึงชีวิต" จากข้อความดังกล่าวควรใช้เครื่องมือชนิดใดวัด
- กระดาษขมิ้น
 - เทอร์โมมิเตอร์
 - เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน
 - กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
9. การทดสอบน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์โดยวิธีการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ควรปฏิบัติอย่างไร
- หย่อนกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ลงไปในบีกเกอร์
 - ใช้ปากคีบจับกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง
 - เอียงบีกเกอร์แล้วนำกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ไปแตะที่ปากบีกเกอร์
 - ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่างแล้วนำไปแตะกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก
10. การปฏิบัติตามข้อใดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุด
- ให้สมาชิกคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง
 - ให้สมาชิกหลายคนวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แต่ไม่ต้องนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย
 - ให้สมาชิกเพียงคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง
 - ให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มใช้เทอร์โมมิเตอร์คนละ 1 อัน วัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละคนมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ กระบวนการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เช่น กรวดทราย กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร ไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสีย โดยใช้อุปกรณ์เช่นตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสีย

ตะแกรงมีไว้ใช้ในการดักเศษขยะต่างๆ เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ และเศษพลาสติก เป็นต้น ตะแกรงมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบซึ่งมีช่องว่างตั้งแต่ 25 มิลลิเมตรขึ้นไป และตะแกรงละเอียดซึ่งมีช่องว่างระหว่าง 2-6 มิลลิเมตร โดยทั่วไปจะนิยมใช้ตะแกรงหยาบในงานบำบัดน้ำเสียทั่วไป สำหรับตะแกรงละเอียดจะถูกใช้เมื่อมีจำเป็นเท่านั้นเนื่องจากมักจะอุดตันง่าย

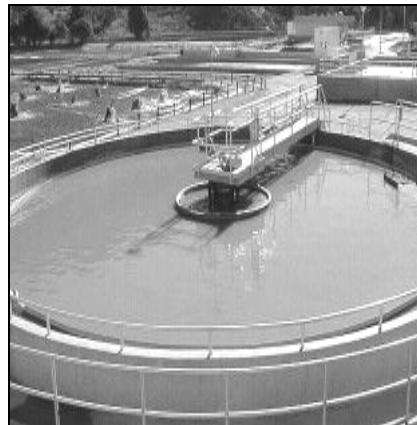
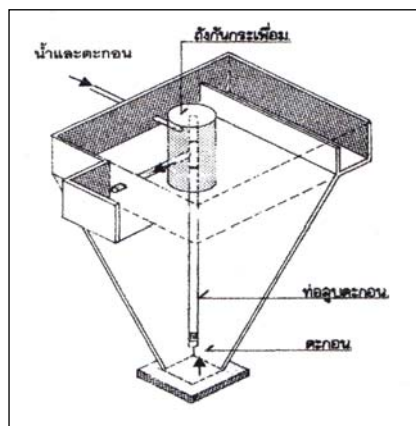


ภาพประกอบ 6 แสดงตะแกรงดักขยะ

(ที่มา ; เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์. www.health.hcu.ac.th)

ถังดักกรวดทรายทำหน้าที่ในการแยกตะกอนหนักออกจากน้ำเสียเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรกลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันในระบบท่อของโรงบำบัดน้ำเสีย และการจับตัวเป็นก้อนใหญ่ของตะกอนซึ่งจะส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียเกิดความเสียหายได้

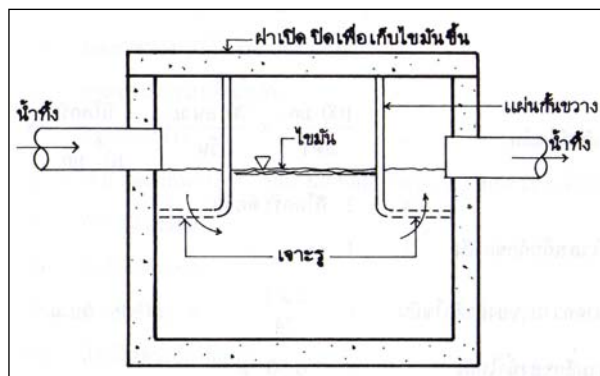
ถังตกตะกอนทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียโดยอาศัยการจมตัวของตะกอนแขวนลอยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนสูงกว่าน้ำ



ภาพประกอบ 7 แสดงถังตกตะกอน

(ที่มา ; www.health.hcu.ac.th, www.ci.camarillo.ca.us)

ถังดักไขมันและน้ำมันอาศัยหลักการ คือ ไขมันและน้ำมันเบากว่าน้ำจึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำทางออกของถังดักไขมันจึงจมอยู่ใต้น้ำทำให้สามารถดักไขมันและน้ำมันออกไปทิ้งได้



ภาพประกอบ 8 แสดงถังดักไขมันและน้ำมัน

(ที่มา ; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.2539: 95)

ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ เป็นการบำบัดที่ง่ายและไม่เปลืองค่าใช้จ่ายรวมทั้งเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ แต่มีข้อจำกัด คือ น้ำที่ได้จากการบำบัดยังไม่มีคุณภาพพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้

บทปฏิบัติการที่ 2

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

หลักการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ การกำจัดของเสียที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย เช่น กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด หวาย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มาทำการบำบัด เช่น ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด กระชอน ผ้าขาวบาง และถังตกตะกอน การเลือกอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย ดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ

อุปกรณ์	หลักการ
ตะแกรงหยาบ	ดักเศษขยะขนาดใหญ่ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย
ตะแกรงละเอียด	ดักสิ่งปนเปื้อนขนาดกลางที่มากับน้ำเสีย
ถังตกตะกอน	แยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก
กระชอน	กรองตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย
ผ้าขาวบาง	กรองตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กมากๆ ออกจากน้ำเสีย

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพได้
2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีและอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำผสมกับข้าวสุก	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำผสมกับเศษกระดาษ	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำผสมดินบดละเอียด	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำที่มีสารแขวนลอย	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

5. ตะแกรงหยาบ	1 อัน
6. ตะแกรงละเอียด	1 อัน
7. ผ้าขาวบาง	1 ผืน
8. ถังตกตะกอน	1 ถัง
9. ขวดพลาสติกใสขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4 ขวด
10. กระชอน	1 อัน

วิธีการทดลอง

1. นำขวดพลาสติกใสขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 4 ขวด ใส่น้ำผสมกับกับข้าวสุก น้ำผสมกับเศษกระดาษ น้ำผสมดินบดละเอียด น้ำที่มีสารแขวนลอย ปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมติดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างทุกขวด
2. เลือกใช้ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด กระชอน ผ้าขาวบาง และถังตกตะกอน แยกของแข็ง ออกจากน้ำตัวอย่างทั้ง 4 ขวด
3. บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผลที่กำหนดให้ไว้
4. สรุปผลการทดลอง และแนวทางการนำการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพไปใช้ประโยชน์ ในชีวิตประจำวัน



ภาพประกอบ 9 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

ชื่อผู้ทดลอง

1 2
3 4
5

วัน/เดือน/ปี..... ชื่อกลุ่ม..... ห้อง.....

จุดประสงค์การทดลอง

1.....
2.....
3.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัด
1. น้ำผสมกับข้าวสุก	
2. น้ำผสมกับเศษกระดาษ	
3. น้ำผสมกับดินบดละเอียด	
4. น้ำที่มีสารแขวนลอย	

สรุปผลการทดลอง

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

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. วิธีการกำจัดของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย คือข้อใด
 - ก. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ
 - ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
 - ค. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
 - ง. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. ถ้าสิ่งที่เป็นกากกับน้ำเสีย ได้แก่ เศษไม้ เศษหญ้า ถุงพลาสติก นักเรียนจะเลือกใช้อุปกรณ์ใดในการบำบัด
 - ก. ผ้าขาวบาง
 - ข. ถังตกตะกอน
 - ค. ตะแกรงหยาบ
 - ง. กระดาษกรอง
3. น้ำตัวอย่างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชนิดใดมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด
 - ก. น้ำที่มีสารแขวนลอยกับตะกร้า
 - ข. น้ำผสมเศษกระดาษกับผ้าขาวบาง
 - ค. น้ำผสมกับข้าวสุกกับกระดาษกรอง
 - ง. น้ำผสมกับดินบดละเอียดกับถังตกตะกอน
4. ถ้าที่บ้านของนักเรียนมีการปรุงอาหาร และมีเศษอาหารติดมากับน้ำทิ้งนักเรียนจะเลือกวิธีใดในการบำบัด
 - ก. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี
 - ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
 - ค. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
 - ง. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
5. ลักษณะใดสังเกตได้จากการใช้ผ้าขาวบางกรองน้ำที่มีตะกอน
 - ก. ปริมาณน้ำลดลง
 - ข. เวลากรองน้ำไหลอย่างช้าๆ
 - ค. ปริมาณตะกอนลดลง น้ำใสขึ้น
 - ง. น้ำมีลักษณะความขุ่นเหมือนเดิม

6. การที่นักเรียนซักผ้าแล้วปล่อยน้ำทิ้งลงสู่คลองส่งผลให้เกิดสิ่งใดตามมา
 - ก. มีผักตบชวาเต็มคลอง
 - ข. น้ำในคลองมีผงซักฟอก
 - ค. น้ำในคลองมีกลิ่นเหม็นมาก
 - ง. น้ำในคลองมีปลาอาศัยอยู่จำนวนมาก
7. น้ำที่ผสมข้าวสุกกับน้ำที่ผสมเศษกระดาษจะทำให้อุปกรณ์ชนิดใดที่เหมือนกันในการแยกของแข็งที่ปะปนอยู่ออก
 - ก. กระชอน
 - ข. ตะแกรงหยาบ
 - ค. กระดาษกรอง
 - ง. ตะแกรงละเอียด
8. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ถ้ายังขุ่น และมีตะกอนเล็กๆ ปะปนอยู่ควรทำการบำบัดด้วยวิธีการในข้อใด
 - ก. นำไปต้ม
 - ข. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
 - ค. เติมคลอรีนแล้วตั้งทิ้งไว้เฉยๆ
 - ง. แกว่งสารส้มให้ความขุ่น และตะกอนตกลงกันถึง
9. ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ
 - ก. ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
 - ข. ระยะเวลาในการบำบัดน้อย
 - ค. น้ำที่ได้จากการบำบัดมีคุณภาพต่ำ
 - ง. อุปกรณ์ในการบำบัดหาได้ง่ายในท้องถิ่น
10. ข้อใดคือสาเหตุที่ทำให้การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพเป็นการบำบัดขั้นต้น
 - ก. แก่ปัญหาความน่ารังเกียจของน้ำ
 - ข. ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค
 - ค. แยกของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย
 - ง. ปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมกับการอุปโภค

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี คือ การกำจัดหรือแยกสารต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเติมสารเคมีลงในน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ส่งผลให้เกิดการแยกสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูงเกินไป มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนยาก ไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ สารประกอบอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ และมีปริมาณเชื้อโรคทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ได้แก่ ถังกรอง ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังฆ่าเชื้อโรค และถังตะกอน ดังภาพประกอบ 14

ดังนั้น ความรู้ทางด้านเคมีจะช่วยในการเลือกชนิด และปริมาณสารเคมีที่ต้องการเติมลงไปได้อย่างถูกต้อง



ภาพประกอบ 10 แสดงถังตกตะกอน
(ที่มา ; www.epco.com.au)

ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีก็คือเมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียจะมีปริมาณสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น และจะเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีด้วย แต่ถ้าน้ำเสียไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ หรือทางชีวภาพก็จำเป็นต้องเลือกวิธีบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี การบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

1. การกำจัดตะกอนแขวนลอย เป็นการเติมสารเคมี เช่น สารส้ม เพื่อให้เกิดการตกตะกอน
2. การทำให้เป็นกลาง น้ำเสียที่มีความเป็นกรดสามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ปูนขาว โซดาไฟ ส่วนน้ำเสียที่เป็นเบสทำให้เป็นกลางโดยการเติมกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดกำมะถัน และกรดเกลือ เป็นต้น
3. การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีตกผลึก โลหะหนักที่พบในน้ำเสียมักอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีตกตะกอนหรือการกรอง จึงต้องทำให้เกิดเป็นผลึกของแข็งเสียก่อนโดยการเพิ่ม pH ดังนั้น การเติมปูนขาวให้กับน้ำเสียจนถึงระดับ pH ที่เหมาะสมจึงสามารถทำให้โลหะหนักตกผลึกได้
4. การกำจัดน้ำมันหรือไขมันละลายน้ำ จำเป็นต้องแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีเสียก่อน เช่น กรดกำมะถัน สารส้ม เป็นต้น จากนั้นจึงใช้วิธีการบำบัดอื่น ๆ
5. การฆ่าเชื้อโรค นิยมใช้การเติมสารเคมี โอโซน และรังสีอัลตราไวโอเล็ต สำหรับการเติมสารเคมี นิยมใช้การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค

บทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

หลักการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี คือ การเปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สูงเกินไปโดยวิธีทำให้น้ำนั้นเป็นกลาง น้ำเสียที่มีความเป็นกรดสามารถทำให้เป็นกลางโดยการเติมเบส เช่น ปูนขาว ชี้เถ้า โซดาไฟ เป็นต้น ส่วนน้ำเสียที่เป็นด่างสามารถทำให้เป็นกลางโดยการเติมกรด เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือ หรือใช้กรดจากธรรมชาติ เช่น น้ำมะนาว น้ำมะขามเปียก เป็นต้น

จุดประสงค์

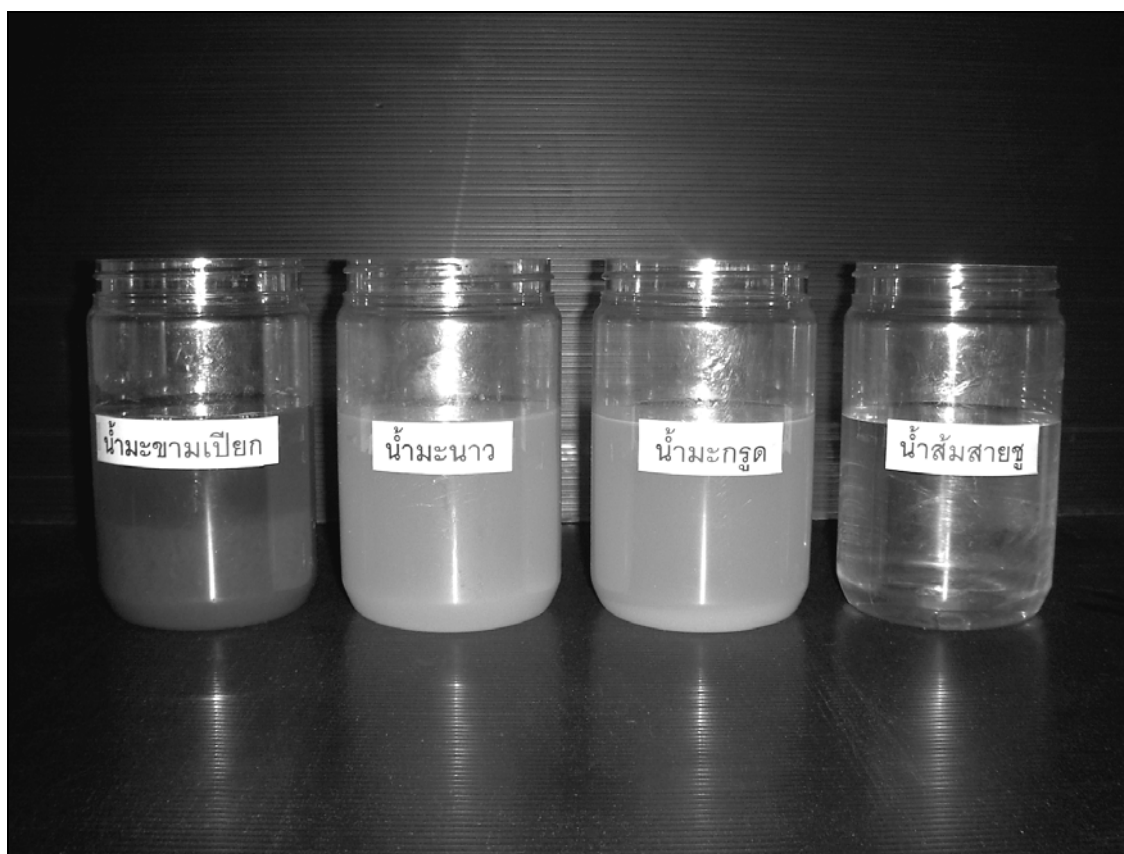
1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสียได้
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้

สารเคมีและอุปกรณ์

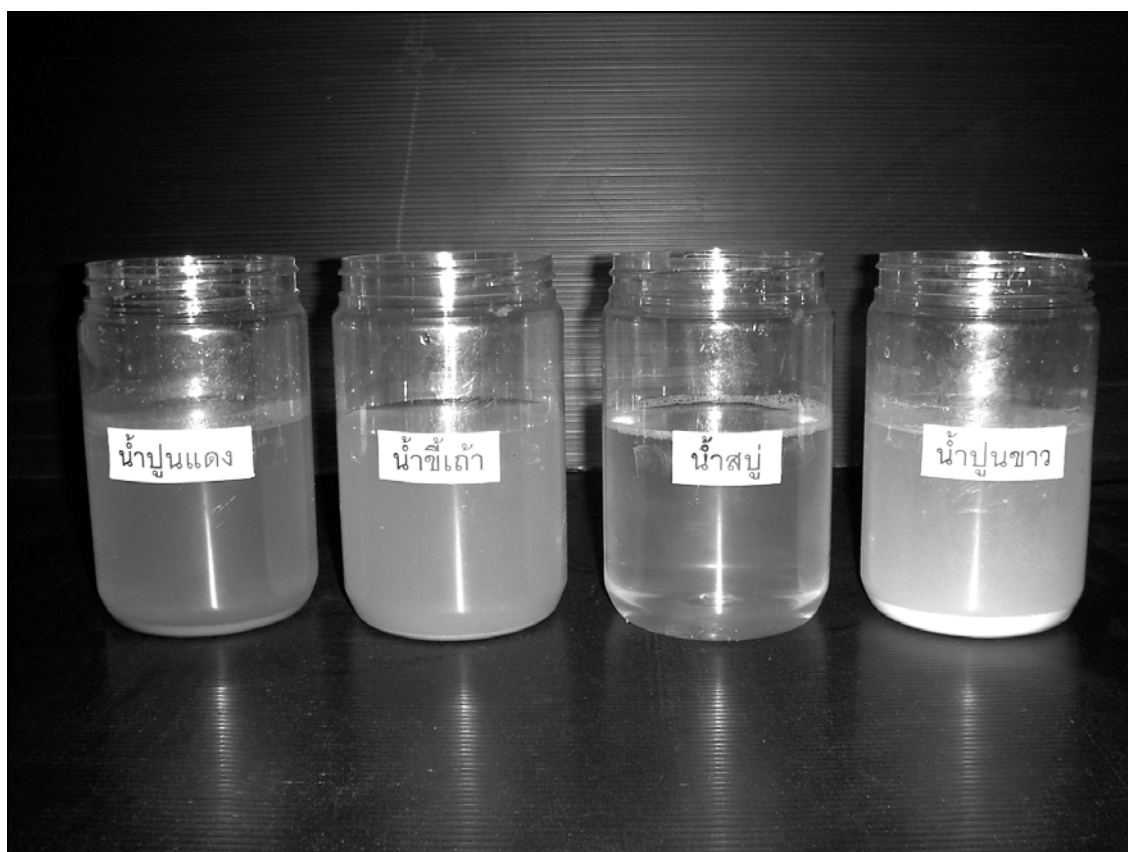
1. น้ำมะนาว	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำมะขามเปียก	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำมะกรูด	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำส้มสายชู	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำปูนขาว	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. น้ำชี้เถ้า	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. น้ำปูนแดง	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
8. น้ำสบู่	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
9. ขวดโหลขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร	8 ใบ
10. กระดาษฟิซซู	1 ม้วน
11. หลอดหยด	8 อัน
12. แท่งแก้วคนสาร	8 แท่ง
13. แผ่นกระจก	1 แผ่น
14. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	8 แผ่น

วิธีการทดลอง

1. นำขวดโหลขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 8 ใบ มาใส่น้ำมะนาว น้ำมะขาม น้ำมะกรูด น้ำส้มสายชู น้ำปูนขาว น้ำขี้เถ้า น้ำปูนแดง และน้ำสบู่ ขวดโหลละ 1 ชนิด ชนิดละ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ติดป้ายชื่อที่ขวดโหลน้ำตัวอย่างทุกใบ
2. นำกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 1
3. ตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่างในตารางที่ 2 แล้วบันทึกผล
4. เลือกใช้น้ำตัวอย่างที่ให้มาในข้อ 1 เป็นตัวปรับสภาพความเป็นกรดหรือด่าง โดยทำให้เป็นกลางบันทึกผลจำนวนหยดของสารปรับสภาพที่ใช้ไปลงในตารางที่ 2
5. สรุปผลการทดลอง และเสนอแนวทางในการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน



ภาพประกอบ 11 แสดงน้ำตัวอย่างที่มีสภาพเป็นกรด ได้แก่ น้ำมะขามเปียก น้ำมะนาว น้ำมะกรูด และน้ำส้มสายชู



ภาพประกอบ 12 แสดงน้ำตัวอย่างที่มีสภาพเป็นเบส ได้แก่ น้ำปูนแดง น้ำขี้เถ้า น้ำสบู่ และน้ำปูนขาว

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

ชื่อผู้ทดลอง

1 2
3 4
5

วัน/เดือน/ปี..... ชื่อกลุ่ม..... ห้อง.....

จุดประสงค์การทดลอง

1.....
2.....
3.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ตารางที่ 1)

น้ำตัวอย่าง	pH	กรด	เบส
น้ำมะนาว			
น้ำมะกรูด			
น้ำมะขามเปียก			
น้ำส้มสายชู			
น้ำปูนขาว			
น้ำขี้เถ้า			
น้ำปูนแดง			
น้ำสบู			

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ตารางที่ 2)

น้ำตัวอย่าง	pH	จำนวนหยดของสารปรับสภาพ		สภาพ
		กรด	เบส	
น้ำมะนาว + น้ำสบู่น้ำ				
น้ำมะกรูด + น้ำขี้เถ้า				
น้ำมะขามเปียก + น้ำปูนขาว				
น้ำส้มสายชู + น้ำปูนแดง				
น้ำมะนาว + น้ำปูนแดง				
น้ำมะกรูด + น้ำปูนขาว				
น้ำมะขามเปียก + น้ำขี้เถ้า				
น้ำส้มสายชู + น้ำสบู่น้ำ				
น้ำมะนาว + น้ำปูนขาว				
น้ำมะกรูด + น้ำสบู่น้ำ				
น้ำมะขามเปียก + น้ำปูนแดง				
น้ำส้มสายชู + น้ำขี้เถ้า				

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดคือการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียโดยการเติมสารเคมี
 - ก. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ
 - ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
 - ค. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
 - ง. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. ถ้านักเรียนถูกน้ำยาล้างห้องน้ำที่เป็นกรดที่มือนักเรียนจะล้างมือด้วยสารละลายชนิดใด
 - ก. น้ำสบู่
 - ข. น้ำเปล่า
 - ค. น้ำมะนาว
 - ง. น้ำส้มสายชู
3. น้ำตัวอย่างชนิดใดต่อไปนี้มีความเป็นกรดทั้ง 2 ชนิด
 - ก. น้ำส้มสายชูกับน้ำสบู่
 - ข. น้ำปูนแดงกับน้ำมะกรูด
 - ค. น้ำส้มสายชูกับน้ำปูนขาว
 - ง. น้ำมะนาวกับน้ำมะขามเปียก
4. ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีคือข้อใด
 - ก. มีจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น
 - ข. ปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น
 - ค. ปริมาณน้ำที่บำบัดแล้วเพิ่มมากขึ้น
 - ง. ปริมาณสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น
5. สารเคมีที่หาได้ง่ายในห้องถิ่นที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำสบู่คือข้อใด
 - ก. น้ำอัดลม
 - ข. น้ำประปา
 - ค. น้ำยาถูพื้น
 - ง. น้ำผงซักฟอก

6. การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่างของสารละลายใช้วิธีการใด
 - ก. ใช้การชิม
 - ข. ใช้การดมกลิ่น
 - ค. ใช้กระดาษขมิ้น
 - ง. ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
7. ถ้าน้ำเสียมีการปนเปื้อนของไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ นักเรียนจะเลือกเติมสารเคมีชนิดใดเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวออกจากน้ำเสียก่อนที่จะทำการบำบัดด้วยวิธีอื่น
 - ก. น้ำสบู่
 - ข. ปูนขาว
 - ค. โซดาไฟ
 - ง. กรดกำมะถัน
8. การที่นักเรียนสังเกตเห็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีลักษณะใสจะบอกได้หรือไม่ว่าเป็นน้ำดีหรือน้ำเสีย
 - ก. ยังบอกไม่ได้
 - ข. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำที่สะอาด
 - ค. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำเสียทางเคมี
 - ง. บอกไม่ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อน
9. การที่น้ำเสียมีปริมาณตะกอนขนาดเล็กจำนวนมากปะปนอยู่ นักเรียนจะเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีวิธีใด
 - ก. การทำให้เป็นกลาง
 - ข. การกำจัดด้วยวิธีตกผลึก
 - ค. การกำจัดตะกอนแขวนลอย
 - ง. การกำจัดไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ

10. การใช้หลอดหยดในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. ดูดของเหลวเต็มหลอด เวลาหยดบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยด เสร็จแล้วสะบัดให้แห้งแล้วเก็บไว้
- ข. ดูดของเหลวเต็มหลอด เวลาบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง แล้วเก็บไว้
- ค. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ เวลาบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดทันที
- ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ เวลาบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้วสะบัดให้แห้ง

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

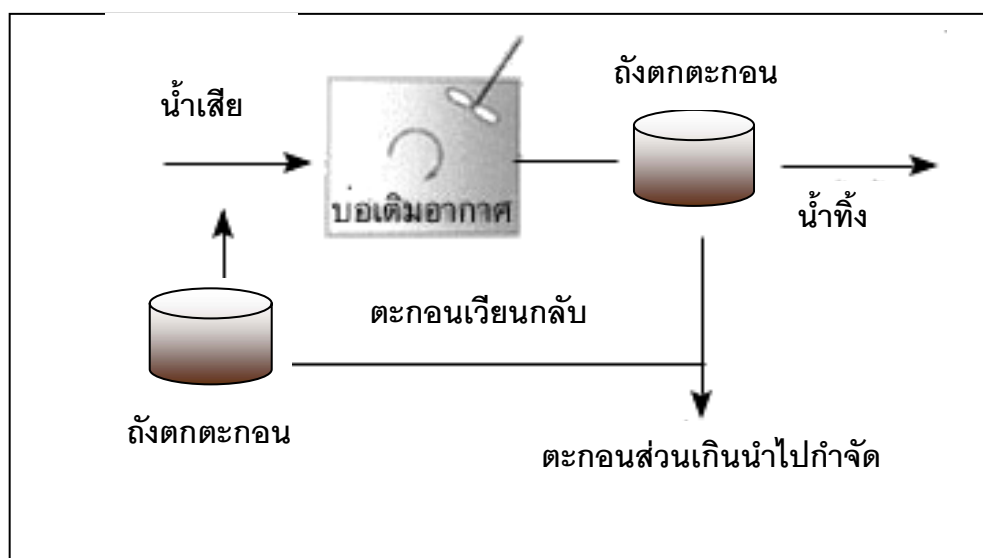
สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ คือ การนำจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียมาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ผลจากการย่อยสลายสารของจุลินทรีย์บางส่วนจะกลายเป็นก๊าซ และส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายจะเป็นตะกอนของเหลวที่ประกอบด้วยสารต่างๆ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

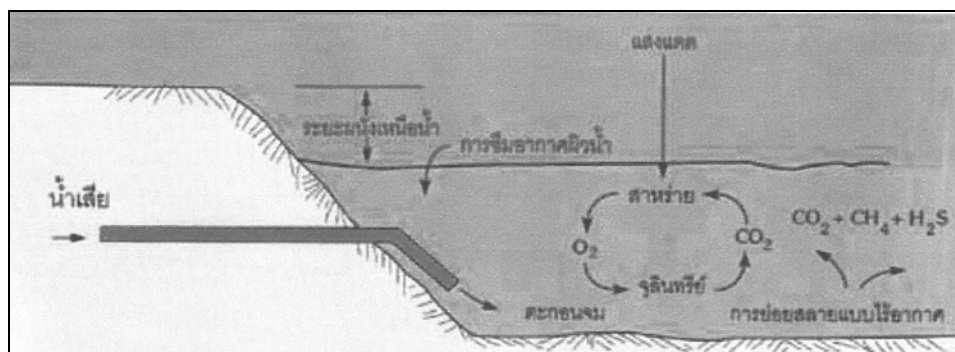
1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ การใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นระบบต่างๆ เช่น ระบบเลี้ยงตะกอนหรือเร่งตะกอน ระบบบ่อผึ่ง ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ เป็นต้น

ระบบเลี้ยงตะกอนหรือเร่งตะกอน คือ การบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ บ่อเติมอากาศ และถังตกตะกอน โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าบำบัดในบ่อเติมอากาศซึ่งน้ำที่บำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำใส ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปยังถังตกตะกอนใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปกำจัดต่อไป ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงการทำงานของระบบเลี้ยงตะกอนหรือเร่งตะกอน
(ทิมา ; กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2545: 88)

ระบบบ่อฝัง คือ การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยอาศัยจุลินทรีย์ และพืชน้ำ โดยเฉพาะสาหร่าย บ่อบำบัดน้ำเสียมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ธรรมดาหรือฉาบด้วยวัสดุที่สามารถกันการรั่วซึมของน้ำ ดังภาพประกอบ 14

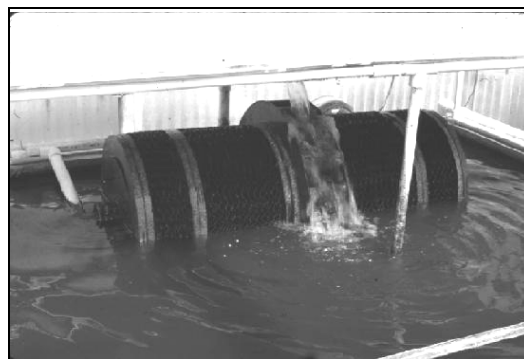


ภาพประกอบ 14 แสดงการทำงานของระบบบ่อฝัง
(ทีมา ; กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2545: 66)

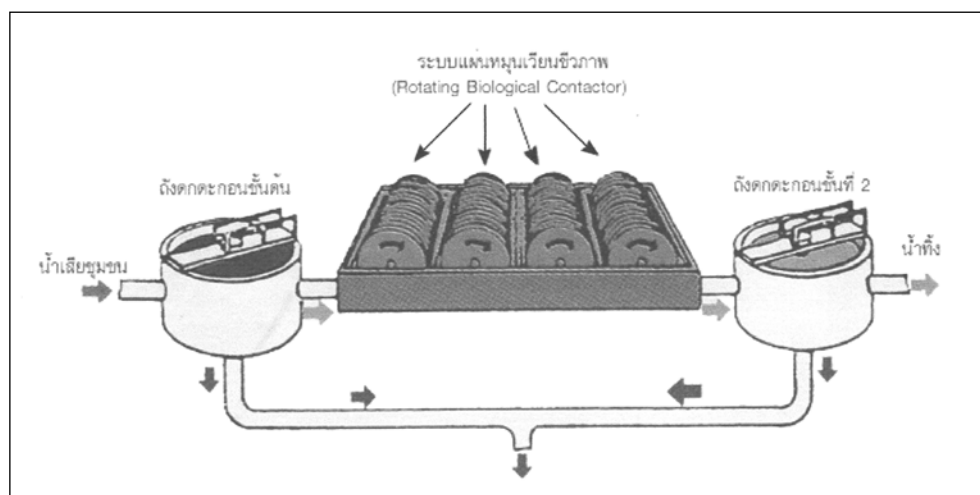


ภาพประกอบ 15 แสดงระบบบำบัดแบบบ่อฝัง
(ทีมา ; www.griffith.nsw.gov.au, www.boervally.com)

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ คือ การบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยจุลินทรีย์ยึดเกาะติดบนแผ่นจานหมุน ซึ่งจะหมุนอย่างช้าๆ การหมุนช่วยให้จุลินทรีย์เคลื่อนที่ไปมาระหว่างน้ำกับอากาศ จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนจากอากาศทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังภาพประกอบ 16



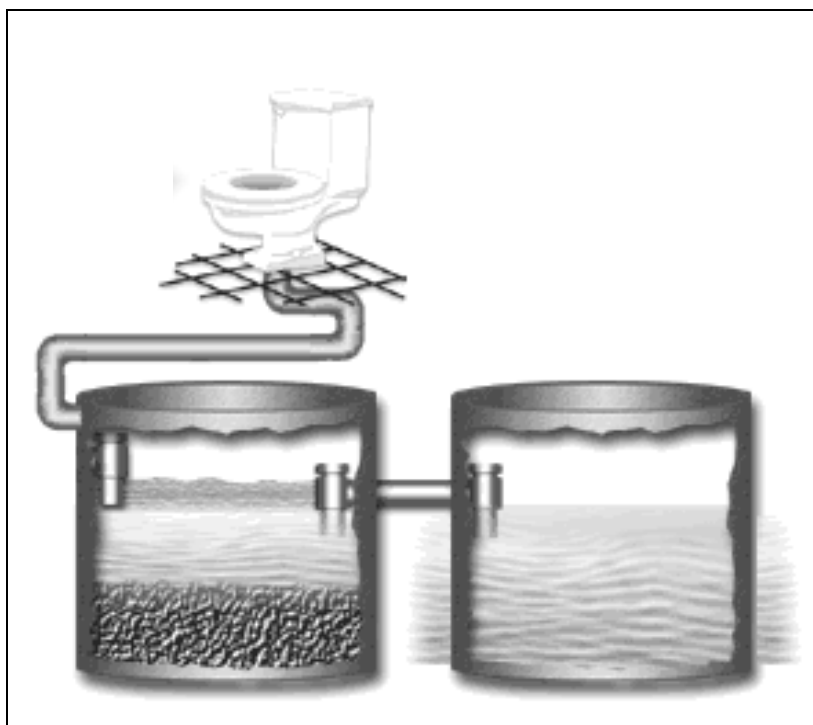
ภาพประกอบ 16 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานหมุนชีวภาพ
(ที่มา ; www.edie.net, www.ag.arizona.edu)



ภาพประกอบ 17 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบจานหมุนชีวภาพ
(ที่มา ; กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2545: 97)

2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งสามารถแบ่งเป็นระบบต่างๆ เช่น ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจน เป็นต้น

ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ คือ การบำบัดน้ำเสียโดยการสร้างบ่อคอนกรีตปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า อยู่ใต้พื้นดินใช้รับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มากนักทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ

(ทีมา ; วีระ ตั้งชวล. 2545: 246)

ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจน คือ การสร้างบ่อดินขนาดใหญ่ซึ่งมีท่อน้ำเสียเข้าส่วนล่างของบ่อเพื่อให้เกิดตะกอน และเกิดการย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้อากาศ โดยไขมันหรือตะกอนลอยซึ่งอยู่บนผิวน้ำจะป้องกันมิให้อากาศภายนอกซึมลงในบ่อ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีกว่าแบบใช้ออกซิเจน คือ

1. ไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน
2. ได้ก๊าซมีเทนซึ่งอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
3. เหมาะสำหรับบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง
4. ลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็มีข้อเสีย คือ แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตช้าจึงต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นบำบัด นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้น้ำทิ้งมีกลิ่นเหม็น และมีสีดำ

บทปฏิบัติการที่ 4

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

หลักการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ คือ การนำจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียมาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ผลจากการย่อยสลายสารของจุลินทรีย์บางส่วนจะกลายเป็นก๊าซ และส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายจะเป็นตะกอนของเหลวที่ประกอบด้วยสารต่างๆ การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ การใช้แบคทีเรียพวกที่ดำรงชีวิตแบบใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์

2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีกว่าแบบใช้ออกซิเจน คือ ไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน ได้ก๊าซมีเทนซึ่งอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง และลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็มีข้อเสีย คือ แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตช้าจึงต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นบำบัด นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้น้ำทิ้งมีกลิ่นเหม็น และมีสีดำ

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการ และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้
2. นักเรียนสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้
3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำเสียจากโรงเรียน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำเสียจากชุมชน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำมูลสัตว์	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำล้างจาน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

5. เครื่องปั๊มลม (ชนิดที่ใช้ไฟในตู้ปลา)	2 เครื่อง
6. ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร	8 ขวด
7. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	36 แผ่น
8. เทอร์โมมิเตอร์	1 อัน
9. แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
10. แผ่นกระจก	1 แผ่น

วิธีการทดลอง

- เตรียมขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 8 ขวด แบ่งออกเป็น ชุดที่ 1 จำนวน 4 ขวด และชุดที่ 2 จำนวน 4 ขวด (ตัดปากขวด) ติดป้ายชื่อบนขวดน้ำทุกขวด
- นำน้ำเสียจากโรงเรียน น้ำเสียจากชุมชน น้ำมูลสัตว์ และน้ำล้างจาน อย่างละ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาใส่ขวดชุดที่ 1 และชุดที่ 2
- สังเกตสี กลิ่น และปริมาณตะกอนของน้ำทั้ง 8 ขวด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
- ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 8 ขวด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
- ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์วัดค่า pH ของน้ำทั้ง 8 ขวด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
- นำฝาปิดปากขวดน้ำชุดที่ 1 ให้สนิทอย่าให้อากาศภายนอกเข้าไปในขวดได้ ส่วนน้ำชุดที่ 2 เปิดปั๊มลมเพื่อเติมก๊าซออกซิเจนตลอดเวลา
- สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น ปริมาณตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างชุดที่ 1 และ 2 ทุก 2 วัน เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 8 วัน บันทึกผลลงในตาราง
- สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ภาพประกอบ 19 แสดงการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ภาพประกอบ 20 แสดงการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ชื่อผู้ทดลอง

1 2

3 4

5

วัน/เดือน/ปี..... ชื่อกลุ่ม..... ห้อง.....

จุดประสงค์การทดลอง

- 1.....
- 2.....
- 3.....

ตารางบันทึกผล ^๕นำตัวอย่างก่อนการทดลอง

[illegible]

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างหลังการทดลอง 2 วัน

[illegible]

ตารางบันทึกผล นำตัวอย่างหลังการทดลอง 6 วัน

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างหลังการทดลอง 8 วัน

[illegible]

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. น้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงควรเลือกใช้วิธีใดในการบำบัด
 - ก. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
 - ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
 - ค. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
 - ง. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ก๊าซอะไร
 - ก. ก๊าซมีเทน
 - ข. ก๊าซออกซิเจน
 - ค. ก๊าซไนโตรเจน
 - ง. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
3. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใดต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำและสาหร่ายสีเขียว
 - ก. แบบที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต
 - ข. แบบที่จุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต
 - ค. แบบที่จุลินทรีย์ใช้ได้ทั้งออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต
 - ง. แบบที่จุลินทรีย์ไม่ได้ใช้ทั้งออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต
4. ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะติดบนแผ่นจานหมุนซึ่งมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา คือระบบใด
 - ก. ระบบบ่อตก
 - ข. ระบบเลี้ยงตะกอน
 - ค. ระบบบ่อไร้ออกซิเจน
 - ง. ระบบจานหมุนชีวภาพ
5. น้ำเสียจากแหล่งใดควรใช้การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
 - ก. น้ำเสียจากบ้านเรือน
 - ข. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม
 - ค. น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร
 - ง. น้ำเสียจากโรงงานกระดาษ

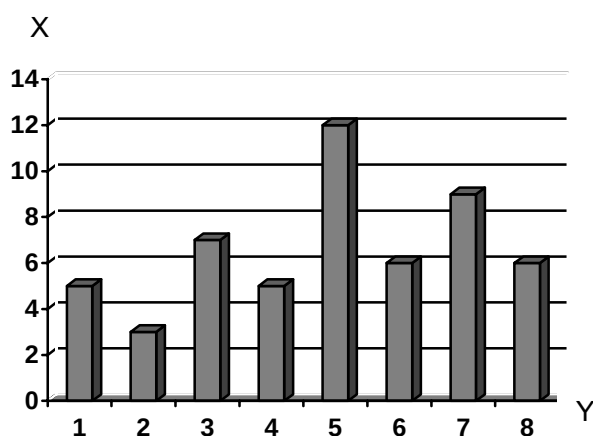
6. ข้อแตกต่างจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงเรียน น้ำเสียจากชุมชน น้ำล้างจาน และน้ำมูลสัตว์ ด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน คืออะไร

- ก. ปริมาณตะกอน
- ข. ปริมาณเชื้อโรค
- ค. ปริมาณจุลินทรีย์
- ง. ปริมาณออกซิเจน

7. วิธีล้างเครื่องแก้วให้สะอาด ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. ล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง และคว่ำลงบนผ้าหรือที่คว่ำเครื่องแก้ว ทิ้งไว้ให้แห้ง เช็ดด้วยผ้าสะอาด
- ข. ล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษหรือผ้าสะอาด และคว่ำลงบนผ้าหรือที่คว่ำเครื่องแก้ว
- ค. ล้างด้วยสบู่หรือสารซักล้าง น้ำสะอาด และคว่ำลงบนผ้าหรือที่คว่ำเครื่องแก้ว ทิ้งไว้ให้แห้ง ห้ามใช้กระดาษชำระหรือผ้าเช็ด
- ง. ล้างด้วยสบู่หรือสารซักล้าง น้ำสะอาด เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษหรือผ้าสะอาด และคว่ำลงบนผ้าหรือที่คว่ำเครื่องแก้ว

8. จากกราฟต่อไปนี้ ถ้า Y คือชนิดตัวอย่างน้ำเสีย X คือข้อใด



- ก. ค่าอุณหภูมิ
- ข. ค่าปริมาณตะกอน
- ค. ค่าปริมาณจุลินทรีย์
- ง. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

9. ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คืออะไร
- ก. ได้ก๊าซมีเทน
 - ข. ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
 - ค. ไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน
 - ง. เหมาะสำหรับบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง
10. เพราะเหตุใดการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงช่วยลดปริมาณตะกอนได้ดีกว่าการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน
- ก. ปริมาณตะกอนถูกสูบออกจากระบบตลอดเวลา
 - ข. ปริมาณตะกอนถูกย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซมีเทน
 - ค. ปริมาณตะกอนมีขนาดเล็กลงจนละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ
 - ง. ปริมาณตะกอนถูกนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตแบบใช้ออกซิเจน

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 5

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

สาระสำคัญ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจะมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีจะทำการบำบัดแตกต่างกันออกไป น้ำเสียชุมชนหรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องผ่านการบำบัดเป็นขั้นๆ ไป จนกว่าน้ำเสียเหล่านั้นจะปราศจากสิ่งปนเปื้อน

การเลือกวิธีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ถูกต้องควรผ่านการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นเสียก่อน หากตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมและมีค่าต่างจากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดจัดว่าเป็น “น้ำเสีย” ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. สิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือน มักจะเป็นน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดชะล้างสิ่งสกปรกส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายผงซักฟอก และสารอินทรีย์จากกิจกรรมต่างๆ

2. สิ่งปฏิกูลจากการอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำทิ้ง และสารบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น

2.1 สารละลายผงซักฟอกจากการชะล้างสิ่งสกปรกของเครื่องจักรและพื้นโรงงาน

2.2 น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเมื่อปล่อยลงแหล่งน้ำมีผลทำให้ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง

2.3 น้ำทิ้งที่มีสารเป็นพิษ เช่น ปปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

2.4 น้ำมันเกิดจากการรั่วอย่างปราศจากความระมัดระวัง เช่น การเทน้ำมันที่ใช้แล้วลงแหล่งน้ำ การล้างโรงงานและเครื่องจักรกล การปล่อยให้น้ำมันรั่วไหลขณะสูบน้ำ เป็นต้น

2.5 การทำเหมืองแร่ส่งผลให้ตะกอนดิน หิน ทราย และเศษแร่ธาตุไหลปนมากับน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

3. สิ่งปฏิกูลจากการเกษตร ปัจจุบันเกษตรกรใช้สารเคมีกันมาก เช่น ปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง นอกจากนี้ยังมีมูลสัตว์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำทั้งสิ้น

การปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นกระบวนการที่จะทำให้ น้ำที่ถูกรับปนเปื้อนมีคุณภาพดีเพียงพอกับการใช้สำหรับการอุปโภค เช่น น้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพน้ำในแต่ละสถานที่จึงแตกต่างกันไปตามชนิด และความรุนแรงของสารปนเปื้อน



ภาพประกอบ 21 แสดงสิ่งปฏิกูลจากกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด “น้ำเสีย”
(ที่มา ; www.namoon.go.th)

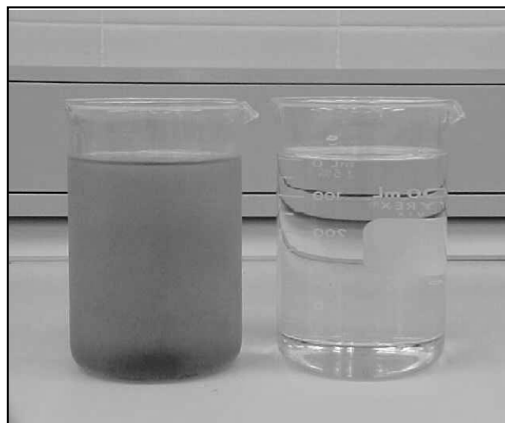


ภาพประกอบ 22 แสดงแหล่งน้ำดิบเพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ปราศจากสิ่งปนเปื้อน
(ที่มา ; www.namoon.go.th)

การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไปอาจแบ่งตามจุดประสงค์ได้ 2 ลักษณะ คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนนำไปใช้ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียก่อนระบายทิ้ง

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนนำไปใช้ คือ การลดสารปนเปื้อนด้วยวิธีการทางกายภาพ และทางเคมี

2. การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียก่อนระบายทิ้ง คือ การลดสารปนเปื้อนต่างๆ ไม่ให้เกินมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ



ภาพประกอบ 23 แสดงน้ำเสียที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
(ที่มา ; www.dds.bma.go.th)

บทปฏิบัติการที่ 5

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

หลักการ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ คือ ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นก่อนแล้วจึงนำน้ำนั้นไปทำการบำบัดเพื่อลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การบำบัดทางกายภาพ เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากแหล่งน้ำ เช่น กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ททราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดคือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังดักตะกอน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรคทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์กำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสียโดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อยลง

การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนนำไปใช้ คือ การลดสารปนเปื้อนด้วยวิธีการทางกายภาพและทางเคมี
2. การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียก่อนระบายทิ้ง คือ การลดสารปนเปื้อนต่างๆ ไม่ให้เกินมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถนำหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำได้
2. นักเรียนสามารถเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ได้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำคลองแสนแสบ	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำสบู่	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำปูนขาว	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำปูนแดง	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำมันพืช	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. สารส้ม	20 กรัม
7. ข้าวสุก	20 กรัม
8. กระชอน	1 อัน
9. แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
10. ดินเหนียว	20 กรัม
11. ผ้าขาวบาง	1 ผืน
12. ดินเหนียว	20 กรัม
13. หลอดหยด	2 หลอด
14. กรดอะซิติก	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
15. กระดาษลิตมัส	10 แผ่น
16. กระดาษกรอง	5 แผ่น
17. ตะแกรงละเอียด	1 อัน
18. โซเดียมไฮดรอกไซด์	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
19. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	10 แผ่น
20. ขวดโหลขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ใบ
21. ปีกเกอร์ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ใบ

วิธีการทดลอง

- นำขวดโหลขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ ใส่สารละลายที่ครูเตรียมไว้ปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และติดป้ายชื่อสารละลายตามหมายเลข
- ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นด้วยวิธีการที่เคยทำการทดลองมาแล้วจากบทปฏิบัติการที่ 1 บันทึกผลลงในตารางที่กำหนด
- เลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น บันทึกผลลงในตารางที่กำหนด

4. สรุปผลการทดลอง และเสนอแนวทางในการนำความรู้เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน



ภาพประกอบ 24 สารละลายหมายเลข 1 และสารละลายหมายเลข 2

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 5 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ชื่อผู้ทดลอง

1 2
3 4
5

วัน/เดือน/ปี..... ชื่อกลุ่ม..... ห้อง.....

จุดประสงค์การทดลอง

1
2

ตารางบันทึกผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	กรด	เบส	pH	ตกตะกอน	ไม่ ตกตะกอน	วิธีการปรับปรุง คุณภาพน้ำ
สารละลาย หมายเลข 1						

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. สิ่งใดที่ควรคำนึงถึงอันดับแรกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ
 - ก. สี
 - ข. กลิ่น
 - ค. ตะกอน
 - ง. สารปนเปื้อน
2. ค่า pH หมายความว่าหมายตรงกับข้อใด
 - ก. ค่าออกสถานะของสาร
 - ข. ค่าออกคุณภาพของสาร
 - ค. ค่าที่บอกความเป็นกรด-ด่าง
 - ง. ค่าที่บอกความสามารถในการละลาย
3. ถ้าน้ำในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่มีการปนเปื้อนของถุงพลาสติกนักเรียนจะเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีใดเพื่อจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น
 - ก. หยิบออกด้วยมือ
 - ข. ตักออกด้วยกระชอน
 - ค. กรองด้วยผ้าขาวบาง
 - ง. กรองด้วยตะแกรงหยาบ
4. น้ำประปาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาจากกระบวนการใด
 - ก. การกลั่น
 - ข. การกรอง
 - ค. การบำบัดน้ำ
 - ง. การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
5. ถ้านักเรียนต้องการเลือกวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำควรใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ข้อใดเป็นอันดับแรก
 - ก. ทักษะการวัด
 - ข. ทักษะการสังเกต
 - ค. ทักษะการทดลอง
 - ง. ทักษะการจำแนกประเภท

6. เมื่อแกว่งสารส้มในถังน้ำที่ขุ่นแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่นักเรียนจะสังเกตเห็นสิ่งใด
 - ก. น้ำใส
 - ข. น้ำขุ่น
 - ค. น้ำมีตะกอน
 - ง. น้ำใส และมีตะกอนก้นถัง
7. น้ำมันและคราบไขมันในน้ำส่งผลให้เกิดปัญหาต่อสัตว์น้ำในเรื่องใดมากที่สุด
 - ก. รบกวนที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ
 - ข. น้ำมันและคราบไขมันทำให้สัตว์น้ำตาย
 - ค. ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของสัตว์น้ำ
 - ง. ลดอุณหภูมิของน้ำส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
8. ในน้ำเสียที่มีไขมันปนเปื้อนอยู่เมื่อได้รับความเย็นจะมีลักษณะอย่างไร
 - ก. เป็นไอ
 - ข. เป็นแผ่น
 - ค. เป็นของเหลว
 - ง. ละลายปนกับน้ำ
9. ปัจจุบันรัฐบาลให้ความสนใจในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และบำบัดน้ำเสียเพื่อจุดประสงค์ใด
 - ก. เพื่อลดปริมาณขยะในน้ำ
 - ข. เพื่อรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม
 - ค. เพื่อลดการใช้น้ำโดยไม่จำเป็น
 - ง. เพื่อความสะดวกในการคมนาคมทางน้ำ
10. การใช้แท่งแก้วคนสาร ควรปฏิบัติอย่างไร
 - ก. ใช้แท่งแก้วคนสารในทิศทางต่างกัน ไม่ให้กระทบกันและด้านข้างของภาชนะ หลังใช้เสร็จล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง และเก็บให้เรียบร้อย
 - ข. ใช้แท่งแก้วคนสารในทิศทางเดียวกัน ไม่ให้กระทบกันและด้านข้างของภาชนะ หลังใช้เสร็จล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง และเก็บให้เรียบร้อย
 - ค. ใช้แท่งแก้วคนสารในทิศทางต่างกัน ให้กระทบกันและด้านข้างของภาชนะ หลังใช้เสร็จล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง และเก็บให้เรียบร้อย
 - ง. ใช้แท่งแก้วคนสารในทิศทางเดียวกัน ให้กระทบกันและด้านข้างของภาชนะ หลังใช้เสร็จ เช็ดให้แห้ง และเก็บให้เรียบร้อย

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 1

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
 2. สามารถบอกคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีได้
 3. เปรียบเทียบน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้
- ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในใบความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยการสังเกต และใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย

จุดประสงค์การทดลอง

1. บอกลักษณะทางกายภาพของน้ำได้
2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างได้
3. สามารถเปรียบเทียบลักษณะของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

<u>เวลาที่ใช้</u>	อภิปรายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	30 นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	80 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำกลั่น	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำเสียจากชุมชน	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำประปา	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมีและอุปกรณ์ (ต่อ)

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำล้างจาน	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำส้มสายชู	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำยาล้างห้องน้ำ	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำสบู่	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำคลองแสนแสบ	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำซักผ้า	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>อุปกรณ์</u>	
กระบอกล้างแก้วตวง ขนาด 100 ลูกบาศก์- เซนติเมตร	1 ใบ
แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
แผ่นกระจก	1 แผ่น
เทอร์โมมิเตอร์	1 อัน
กระดวยนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	10 แผ่น

การเตรียมล่วงหน้า

ครูเตรียมตัวอย่างน้ำต่างๆ ดังนี้

1. น้ำกลั่น ควรเป็นน้ำกลั่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่มีสีดำ และมีกลิ่นเหม็นโดยให้นักเรียนเตรียมมาในตอนเช้า

ก่อนทำการทดลอง

3. น้ำประปา ควรเปิดใส่ภาชนะปากกว้างก่อน 1 วัน เพื่อให้ปราศจากกลิ่นคลอรีน
4. น้ำล้างจาน เป็นน้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำ เศษอาหาร และน้ำยาล้างจานโดยให้นักเรียน

เตรียมมาในตอนเช้าก่อนทำการทดลอง

5. น้ำส้มสายชู ควรผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3
6. น้ำยาล้างห้องน้ำ ควรผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3
7. น้ำสบู่ เป็นน้ำสบู่ที่ได้จากการล้างทำความสะอาดมือของนักเรียน
8. น้ำคลองแสนแสบ ควรเตรียมพื้นที่ที่มีการทดลอง
9. น้ำจากตู้เลี้ยงปลา เป็นน้ำที่มีสาหร่ายทางกระบอกเจริญเติบโตอยู่ร่วมกับปลาหางนกยูง ซึ่งไม่มีการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ
10. น้ำซักผ้า เป็นน้ำในการซักผ้าครั้งแรกซึ่งมีผงซักฟอกผสมอยู่โดยให้นักเรียนเตรียมมาในตอนเช้าก่อนทำการทดลอง

อภิปรายก่อนการทดลอง

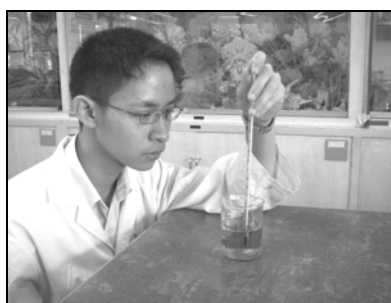
ครูแนะนำให้นักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด และวิธีการดมสารเคมีให้ใช้มือพัดกลิ่นมาดมห้ามใช้จมูกดมกลิ่นโดยตรง
2. อธิบายวิธีการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง เช่น การใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ การใช้เทอร์โมมิเตอร์ และการใช้กระบอกตวง



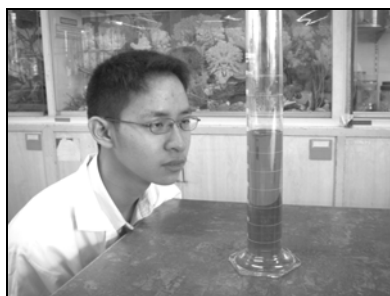
การทดสอบโดยใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ให้แบ่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่าง นำมาแตะที่กระดาษ ยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จากนั้นสังเกตสีที่เปลี่ยนเทียบกับสีมาตรฐานที่กำหนด การอ่านเลขที่ตรงกับสีจะต้องอ่านภายในเวลา 30 วินาที สีที่เปลี่ยนหลัง 30 วินาที จะเป็นค่าที่ผิดพลาด

ภาพประกอบ 25 แสดงการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์



การใช้เทอร์โมมิเตอร์ต้องให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มอยู่ในสิ่งนั้นหรือสัมผัสกับสิ่งที่จะวัดให้มากที่สุด และก้านของเทอร์โมมิเตอร์ต้องตั้งตรง เมื่อระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว จึงอ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว และเทอร์โมมิเตอร์ยังจุ่มอยู่ในสิ่งที่ต้องการวัด

ภาพประกอบ 26 แสดงการใช้เทอร์โมมิเตอร์



วิธีอ่านค่าบนกระบอกตวง เนื่องจากลักษณะผิวหน้าของของน้ำเว้าตรงกลาง เวลาอ่านให้อ่านที่ขีดบอกระดับตรงส่วนล่างสุดของผิวโค้งโดยให้ตาอยู่ตรงกับระดับน้ำเสมอ

ภาพประกอบ 27 แสดงการอ่านค่าบนกระบอกตวง

3. ให้นักเรียนทำการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
4. ตัดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างทุกชนิดที่นำมาทดลองที่ข้างบีกเกอร์ทุกใบ
5. บันทึกผลการทดลอง
6. อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้

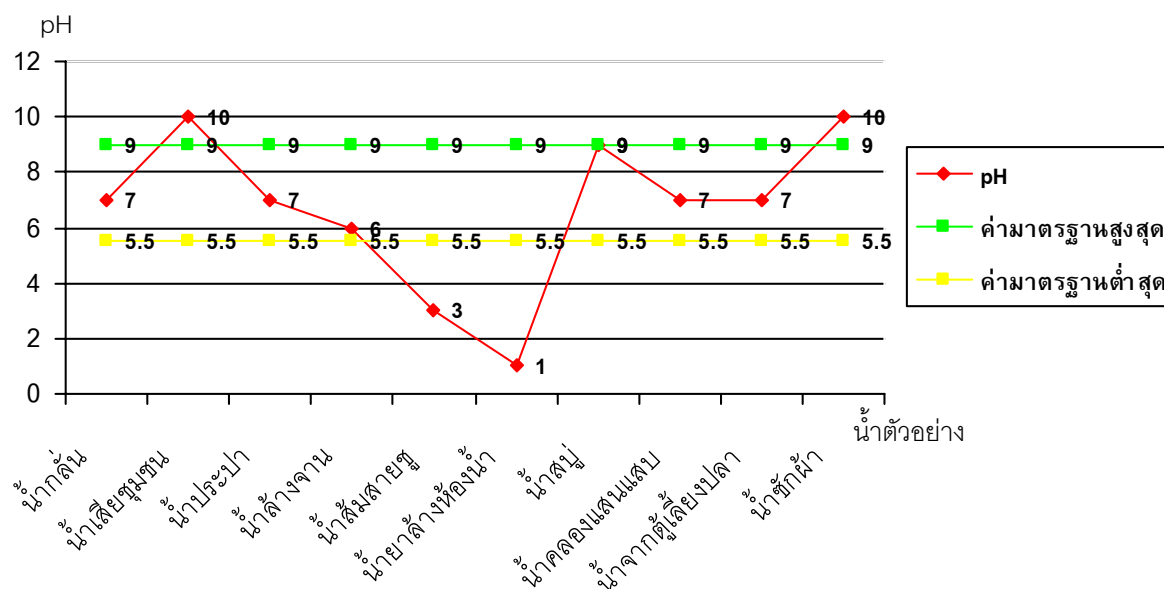
ตารางบันทึกผล การสังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน	
	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
น้ำกลั่น		/		/		/
น้ำเสียจากชุมชน	/		/		/	
น้ำประปา		/		/		/
น้ำล้างจาน	/		/		/	
น้ำส้มสายชู		/	/			/
น้ำยาล้างห้องน้ำ	/		/			/
น้ำสบู่	/		/		/	
น้ำคลองแสนแสบ	/		/		/	
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	/		/		/	
น้ำซักผ้า	/		/		/	

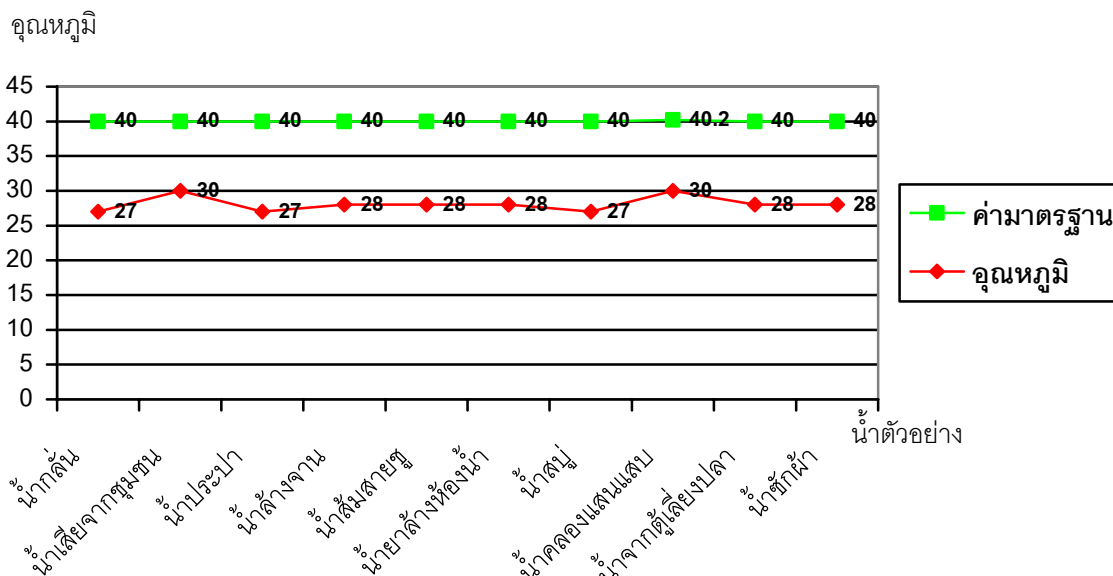
หมายเหตุ ผลการทดลองอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลองที่ทดลองได้จริง

ตารางบันทึกผล การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ

น้ำตัวอย่าง	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง	
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)
	5.5-9	ไม่เกิน 40
น้ำกลั่น	7	27
น้ำเสียจากชุมชน	10	30
น้ำประปา	7	27
น้ำล้างจาน	6	28
น้ำส้วมสายชู	3	28
น้ำยาล้างห้องน้ำ	1	28
น้ำสบู่	9	27
น้ำคลองแสนแสบ	7	30
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	7	28
น้ำซักผ้า	10	28



ภาพประกอบ 28 แสดงค่า pH ของน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง



ภาพประกอบ 29 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

อภิปรายหลังการทดลอง

1. ให้นักเรียนเสนอผลการทดลองบนกระดานดำ

2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

2.1 น้ำที่มีผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำกลั่น คือ น้ำประปา แสดงว่าน้ำนั้นเป็นน้ำสะอาดสามารถนำไปใช้ในการบริโภคได้

2.2 น้ำที่มีผลการทดลองแตกต่างจากน้ำกลั่น คือ น้ำเสียจากชุมชน มีสีเทาดำ กลิ่นเหม็น มีเศษอาหาร และวัสดุไม่ย่อยสลายปนเปื้อน

น้ำล้างจาน มีสีส้ม-แดงคล้ายสีของพริก กลิ่นเหม็น มีเศษอาหารปนหลายชนิด

น้ำส้มสายชู มีกลิ่นเปรี้ยว ค่า pH เท่ากับ 3 แสดงว่าน้ำนั้นมีสภาพเป็นกรดซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรุงอาหารได้แต่ห้ามใช้ในปริมาณที่มากเพราะจะทำให้เกิดโทษต่อร่างกาย

น้ำยาล้างห้องน้ำ มีสีฟ้า ค่า pH เท่ากับ 1 แสดงว่าน้ำมีสภาพความเป็นกรดที่รุนแรง

น้ำสบู สีขาวขุ่น กลิ่นหอม มีฟองอากาศขนาดเล็กลอยอยู่ผิวน้ำ

น้ำคลองแสนแสบ มีสีดำอ่อนๆ กลิ่นเหม็นเล็กน้อย มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์จากแหล่งกำเนิดต่างๆ

น้ำจากตู้เย็นปลา มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อย พบการปะปนของเศษสาหร่ายหางกระรอกแต่มีปริมาณน้อยมาก

น้ำซักผ้า มีสีดำ กลิ่นผงซักฟอก มีฟองสีขาวลอยอยู่ที่ผิวของน้ำ

ดังนั้น น้ำเสียจากชุมชน น้ำล้างจาน น้ำสัมผัส ชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำส้วม น้ำคลอง
แสนแสบ น้ำจากตู้เลี้ยงปลา และน้ำซักผ้า จึงเป็นน้ำเสียเนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างไปจากน้ำกลั่น

2.3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ น้ำกลั่น
น้ำประปา

แนวคำตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- ข้อที่ 1 เฉลย ค. น้ำที่มีกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์
- ข้อที่ 2 เฉลย ก. เขียนกราฟ
- ข้อที่ 3 เฉลย ค. น้ำประปา น้ำยาล้างห้องน้ำ
- ข้อที่ 4 เฉลย ง. เพราะน้ำที่เป็นกลางมีค่า pH เท่ากับ 7
- ข้อที่ 5 เฉลย ก. น้ำกลั่น น้ำประปา
- ข้อที่ 6 เฉลย ง. น้ำคลองแสนแสบ
- ข้อที่ 7 เฉลย ข. สารละลายผงซักฟอก
- ข้อที่ 8 เฉลย ง. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
- ข้อที่ 9 เฉลย ง. ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่างแล้วนำไปแตะกระดาษ
ยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก
- ข้อที่ 10 เฉลย ค. ให้สมาชิกเพียงคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง
อย่างระมัดระวัง 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
2. สามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
3. สรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในใบความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

บทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพโดยเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับน้ำตัวอย่าง

จุดประสงค์การทดลอง

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพได้
2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธี และอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสียได้
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพได้

<u>เวลาที่ใช้</u>	อธิบายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	30 นาที
	อธิบายหลังการทดลอง	20 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	80 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำผสมกับข้าวสุก	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำผสมกับเศษกระดาษ	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมีและอุปกรณ์ (ต่อ)

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำผสมกับดินบดละเอียด	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำที่มีสารแขวนลอย	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
<u>อุปกรณ์</u>	
ตะแกรงหยาบ	1 อัน
ตะแกรงละเอียด	1 อัน
กระชอน	1 อัน
ผ้าขาวบาง	1 อัน
ถังตกตะกอน	1 ใบ
ขวดพลาสติกชนิดใส ขนาด 2 ลิตร	4 ขวด

การเตรียมล่วงหน้า

1. น้ำผสมข้าวสุก ใช้ข้าวสุก จำนวน 50 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำผสมกับกระดาษ ฉีกกระดาษให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในขวดพลาสติกใส จำนวน 10 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำผสมกับดินบดละเอียด น้ำดินที่บดละเอียดแล้วใส่ในขวดพลาสติกใส จำนวน 10 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำที่มีสารแขวนลอย ให้นักเรียนเตรียมมาจากบ้านโดยนำมาจากแหล่งน้ำใกล้บ้าน

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำให้ นักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
2. อธิบายวิธีการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง เช่น การใช้ตะแกรง การใช้ผ้าขาวบาง การใช้ถังตกตะกอน และการใช้กระชอน
3. ให้นักเรียนทำการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
4. ติดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างที่ขวดทุกขวด

5. ออกแบบการทดลอง แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผลการทดลองที่กำหนดให้
6. อภิปรายผลการทดลองและสรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัด
น้ำผสมกับข้าวสุก	ตะแกรงละเอียด กระชอน ถังตกตะกอน
น้ำผสมกับเศษกระดาษ	ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด
น้ำผสมกับดินบดละเอียด	ผ้าขาวบาง ถังตกตะกอน
น้ำที่มีสารแขวนลอย	ตะแกรงละเอียด ผ้าขาวบาง ถังตกตะกอน

อภิปรายผลหลังการทดลอง

1. ให้นักเรียนเสนอผลการออกแบบการทดลองบนกระดานดำ
 2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้
 - 2.1 น้ำผสมกับข้าวสุก อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดควรจะเป็นตะแกรงละเอียด กระชอน เพราะข้าวสุกมีขนาดเล็ก แต่ถ้ามีเศษอาหารหลุดรอดไปได้ก็จะใช้ผ้าขาวบางหรือถังตกตะกอนเพื่อแยกให้ตะกอนเล็กๆ ตกลงสู่ก้นถัง
 - 2.2 น้ำผสมกับเศษกระดาษ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการบำบัดควรจะเป็นตะแกรงหยาบหรือละเอียดขึ้นอยู่กับขนาดของกระดาษที่จะทำการบำบัด
 - 2.3 น้ำผสมกับดินบดละเอียด อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการบำบัดควรใช้ผ้าขาวบาง และถ้ามีส่วนที่รอดจากผ้าขาวบางออกไปได้ก็จะใช้ถังตกตะกอนเพื่อแยกให้ตะกอนเล็กๆ ตกลงสู่ก้นถัง
 - 2.4 น้ำที่มีสารแขวนลอย ต้องพิจารณาสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำก่อน ต่อจากนั้นจึงเลือกใช้ อุปกรณ์ที่นำมาบำบัดซึ่งควรเป็นตะแกรงละเอียด ผ้าขาวบาง และถังตกตะกอน เพราะว่ามีสารแขวนลอยที่มาจากแหล่งชุมชนจะมีสารแขวนลอยที่เล็กและละเอียดมาก
- สรุปจากผลการทดลอง การเลือกใช้อุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพจะต้องพิจารณาสิ่งที่ปะปนอยู่ในน้ำก่อน ต่อจากนั้นจึงเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการบำบัดไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เดียวในการบำบัดเพราะสิ่งที่ปะปนมากับน้ำเสียมีขนาดแตกต่างกัน

แนวคำตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- ข้อที่ 1 เฉลย ก. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ
- ข้อที่ 2 เฉลย ค. ตะแกรงหยาบ
- ข้อที่ 3 เฉลย ง. น้ำผสมกับดินบดละเอียดกับถังตกตะกอน
- ข้อที่ 4 เฉลย ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- ข้อที่ 5 เฉลย ค. ปริมาณตะกอนลดลง น้ำใสขึ้น
- ข้อที่ 6 เฉลย ก. มีผักตบชวาเต็มคลอง
- ข้อที่ 7 เฉลย ง. ตะแกรงละเอียด
- ข้อที่ 8 เฉลย ง. แกว่งสารส้มให้ความชุ่มชื้น และตะกอนตกลงก้นถัง
- ข้อที่ 9 เฉลย ค. น้ำที่ได้จากการบำบัดมีคุณภาพต่ำ
- ข้อที่ 10 เฉลย ค. แยกของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
2. สามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
3. สรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในใบความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

บทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีโดยการทำให้เป็นกลาง

จุดประสงค์การทดลอง

1. อธิบายขั้นตอน และหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้
2. เลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย
3. สามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	30 นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	80 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
น้ำมะนาว	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำมะขามเปียก	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำมะกรูด	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมีและอุปกรณ์ (ต่อ)

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำส้มสายชู	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำปูนขาว	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำซี้เถ้า	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำปูนแดง	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำสบู่	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>อุปกรณ์</u>	
ขวดโหลขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร	8 ใบ
กระดาดหิซชู	1 ม้วน
หลอดหยด	8 อัน
แท่งแก้วคนสาร	8 แท่ง
แผ่นกระจก	1 แผ่น
กระดาดยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	8 แผ่น
ถ้วยตวง	1 ใบ

การเตรียมล่วงหน้า

ครูเตรียมน้ำตัวอย่างต่างๆ ดังนี้

1. นำน้ำมะนาว 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
2. นำน้ำมะขามเปียก 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
3. นำน้ำมะกรูด 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
4. นำน้ำส้มสายชู 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
5. นำสบู่เหลว 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
6. นำปูนขาว 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
7. นำซี้เถ้า 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน
8. นำปูนแดง 1 ถ้วยตวง ผสมน้ำประปาให้ครบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน

9. น้ำประปา ควรเปิดใส่ภาชนะปากกว้างตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ก่อนทำการทดลอง

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำให้นักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
2. อธิบายวิธีการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง เช่น การใช้หลอดหยด การใช้กระดาษลิตมัส
3. ให้นักเรียนทำการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
4. นำขวดโหลขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 8 ขวด มารับน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 1 ขวด เขียนป้ายชื่อติดข้างขวดสำหรับน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด
5. ตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด และเลือกใช้น้ำตัวอย่างที่ให้มาเป็นตัวปรับสภาพความเป็นกรดหรือเบส โดยทำให้เป็นกลาง
6. บันทึกผลการทดลอง
7. อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้

ผลการทดลอง (ตารางที่ 1)

น้ำตัวอย่าง	pH	กรด	เบส
น้ำมะนาว	4	/	
น้ำมะขามเปียก	4	/	
น้ำมะกรูด	4	/	
น้ำส้มสายชู	2	/	
น้ำปูนขาว	10		/
น้ำซีเมนต์	10		/
น้ำปูนแดง	10		/
น้ำสบู	11		/

ผลการทดลอง (ตารางที่ 2)

น้ำตัวอย่าง	pH	จำนวนหยด		สภาพ
		กรด	เบส	
น้ำมะนาว + น้ำสบู่	5	15	30	กลาง
น้ำมะกรูด + น้ำขี้เถ้า	5	15	30	กลาง
น้ำมะขามเปียก + น้ำปูนขาว	5	15	30	กลาง
น้ำส้มสายชู + น้ำปูนแดง	5	15	30	กลาง
น้ำมะนาว + น้ำปูนแดง	5	15	30	กลาง
น้ำมะกรูด + น้ำปูนขาว	5	15	30	กลาง
น้ำมะขามเปียก + น้ำขี้เถ้า	5	15	30	กลาง
น้ำส้มสายชู + น้ำสบู่	5	15	30	กลาง
น้ำมะนาว + น้ำปูนขาว	5	15	30	กลาง
น้ำมะกรูด + น้ำสบู่	5	15	30	กลาง
น้ำมะขามเปียก + น้ำปูนแดง	5	15	30	กลาง
น้ำส้มสายชู + น้ำขี้เถ้า	5	15	30	กลาง

หมายเหตุ ผลการทดลองอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลองจริง

อภิปรายผลหลังการทดลอง

- ให้นักเรียนเสนอผลการทดลองบนกระดานดำ
- ครู และนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

2.1 ตรวจสอบสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่างที่จะนำมาทำการทดลอง ซึ่งน้ำตัวอย่างที่เป็นกรด ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำมะขามเปียก น้ำมะกรูด และน้ำส้มสายชู ส่วนน้ำตัวอย่างที่เป็นเบส ได้แก่ น้ำปูนขาว น้ำขี้เถ้า น้ำปูนแดง และน้ำสบู่

2.2 การเลือกใช้น้ำตัวอย่างที่เป็นกรดหรือเบสเป็นตัวปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เมื่อดูจากผลการทดลองจะเห็นว่า ถ้าใช้กรดในปริมาณที่เท่ากันจะต้องใช้น้ำตัวอย่างที่เป็นเบสมาปรับสภาพมากกว่า จึงจะทำให้ น้ำตัวอย่างทั้งสองชนิดมีสภาพเป็นกลาง

สรุปจากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าน้ำตัวอย่างที่เป็นกรดจะมีความเข้มข้นมากกว่าน้ำตัวอย่างที่เป็นเบส จึงต้องใช้น้ำตัวอย่างที่เป็นเบสในปริมาณที่มากกว่ามาปรับสภาพเพื่อให้มีสภาพเป็นกลาง

แนวคำตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- ข้อที่ 1 เฉลย ข. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- ข้อที่ 2 เฉลย ก. น้ำสบู่
- ข้อที่ 3 เฉลย ง. น้ำมะนาวกับน้ำมะขามเปียก
- ข้อที่ 4 เฉลย ง. ปริมาณสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น
- ข้อที่ 5 เฉลย ง. น้ำผงซักฟอก
- ข้อที่ 6 เฉลย ง. ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
- ข้อที่ 7 เฉลย ง. กรดกำมะถัน
- ข้อที่ 8 เฉลย ง. บอกไม่ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อน
- ข้อที่ 9 เฉลย ค. การกำจัดตะกอนแขวนลอย
- ข้อที่ 10 เฉลย ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ เวลาบีบจุกยางให้
ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้ว
สะอาดให้แห้ง

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการ และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้
2. สามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้
3. เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในใบความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

บทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จุดประสงค์การทดลอง

1. อธิบายหลัก และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนออกซิเจนได้
2. สามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้
3. เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

<u>เวลาที่ใช้</u>	อภิปรายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	30 นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	80 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำเสียจากโรงเรียน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำเสียจากชุมชน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำมูลสัตว์	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำล้างจาน	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>อุปกรณ์</u>	
ขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 2,000	
ลูกบาศก์เซนติเมตร	8 ขวด
เครื่องปั๊มลม (ชนิดที่ใช้ใส่ในตู้ปลา)	2 เครื่อง
กระดาษญูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	36 อัน
เทอร์โมมิเตอร์	1 อัน
แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
แผ่นกระจก	1 แผ่น

การเตรียมล่วงหน้า

1. น้ำเสียจากโรงเรียนควรเป็นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ มาก่อน ครูให้นักเรียนเตรียมตอนเช้าก่อนทำการทดลอง
2. น้ำเสียจากชุมชนควรเป็นน้ำที่มีกลิ่นเหม็น และมีสีดำ ครูให้นักเรียนเตรียมตอนเช้าก่อนทำการทดลอง
3. น้ำมูลสัตว์ควรเตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน ที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร เก็บไว้ในขวดปากแคบ และก่อนนำมาทำการทดลองควรกวนตะกอนให้ลอยตัวและผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน
4. น้ำล้างจานควรเป็นน้ำที่ได้จากการล้างจานครั้งแรก หรือใช้เศษอาหารผสมกับน้ำ 10 กรัมต่อลิตร ครูให้นักเรียนเตรียมตอนเช้าก่อนทำการทดลอง และก่อนทำการทดลองควรกวนตะกอนให้ลอยตัวและผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำให้ให้นักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่าง และในการดมกลิ่นให้ใช้มือพัดกลิ่นมาดมห้ามใช้จมูกดมโดยตรง
2. อธิบายวิธีใช้อุปกรณ์ในการทดลอง เช่น การใช้เครื่องปั๊มลม
3. ให้นักเรียนทำการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
4. นำขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 8 ขวด มารับน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 1 ขวด เขียนป้ายชื่อติดข้างขวดสำหรับน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด (โดยแบ่งเป็น 2 ชุด)
5. ปิดปากขวดน้ำตัวอย่างชุดที่ 1 ส่วนน้ำตัวอย่างชุดที่ 2 ให้นำปั๊มลมที่มีหัวฟู่ใส่ลงไปในขวดน้ำชุดที่ 2 ทั้ง 4 ขวด (เปิดเครื่องปั๊มลมตลอดเวลาจนกว่าจะเสร็จการทดลอง)
6. บันทึกผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน		pH		อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2
น้ำเสียจากโรงเรียน	น้ำตาล	น้ำตาล	เหม็น	เหม็น	มี	มี	9	9	29	29
น้ำเสียจากชุมชน	ดำ	ดำ	เหม็น	เหม็น	มี	มี	7	7	30	30
น้ำมูลสัตว์	น้ำตาล	น้ำตาล	เหม็น	เหม็น	มี	มี	7	7	30	30
น้ำล้างจาน	ส้ม	ส้ม	เหม็น	เหม็น	มี	มี	6	6	31	31

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างหลังการทดลอง 2 วัน

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน		pH		อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2
น้ำเสียจากโรงเรียน	น้ำตาล	น้ำตาล	เหม็น	เหม็น	มี	มี	9	9	29	29
น้ำเสียจากชุมชน	ดำ	ดำ	เหม็น	เหม็น	มี	มี	7	7	30	30
น้ำมูลสัตว์	น้ำตาล	น้ำตาล	เหม็น	เหม็น	มี	มี	7	7	30	30
น้ำล้างจาน	ส้ม	ส้ม	เหม็น	เหม็น	มี	มี	6	6	31	31

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างหลังการทดลอง 4 วัน

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน		pH		อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2
น้ำเสียจากโรงเรียน	น้ำตาล อ่อน	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	9	9	29	28
น้ำเสียจากชุมชน	จางลง	จางลง	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	30	29
น้ำมูลสัตว์	น้ำตาล อ่อน	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	30	28
น้ำล้างจาน	จางลง	จางลง	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	6	6	31	30

ตารางบันทึกผล น้ำตัวอย่างหลังการทดลอง 8 วัน

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน		pH		อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2
น้ำเสียจากโรงเรียน	น้ำตาล อ่อน	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	9	9	29	28
น้ำเสียจากชุมชน	จางลง	จางลง	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	30	29
น้ำมูลสัตว์	น้ำตาล อ่อน	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	30	28
น้ำล้างจาน	จางลง	จางลง	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	6	6	31	30

ผลการทดลอง (ครั้งที่ 5)

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน		pH		อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2	ชุด 1	ชุด 2
น้ำเสียจากโรงเรียน	ใส	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	9	9	28	28
น้ำเสียจากชุมชน	จางลง	จางลง	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	30	29
น้ำมูลสัตว์	น้ำตาล อ่อน	น้ำตาล อ่อน	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	7	7	31	28
น้ำล้างจาน	ใส	ใส	เหม็น	ไม่ เหม็น	ลด ลง	มี	6	6	31	30

หมายเหตุ ผลการทดลองอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลองที่ทดลองได้จริง

อภิปรายหลังผลการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ทำให้การบำบัดได้ผลรวดเร็ว สีและกลิ่นลดลง ส่วนปริมาณตะกอนจะอยู่เท่าเดิม ค่า pH คงที่ อุณหภูมิลดลงเล็กน้อย การบำบัดวิธีนี้จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัด
2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน การบำบัดต้องใช้เวลามากแต่ปริมาณตะกอนลดลง กลิ่นเหม็น สีลดลงเล็กน้อย ค่า pH คงที่ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การบำบัดวิธีนี้จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยแต่ต้องใช้เวลาในการบำบัดนาน
3. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนสิ่งเหมือนกันคือ ค่า pH จะคงที่ ส่วนที่แตกต่างกันคือ สี กลิ่น อุณหภูมิ และปริมาณตะกอน
4. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดี คือ ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัด ช่วยลดปริมาณตะกอนได้มากส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาในการบำบัดนาน
5. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนมีข้อดี คือ ใช้เวลาในการบำบัดน้อย ส่วนข้อเสีย คือ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัด

แนวคำตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- ข้อที่ 1 เฉลย ง. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- ข้อที่ 2 เฉลย ก. ก๊าซมีเทน
- ข้อที่ 3 เฉลย ก. แบบที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต
- ข้อที่ 4 เฉลย ง. ระบบจานหมุนชีวภาพ
- ข้อที่ 5 เฉลย ค. น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร
- ข้อที่ 6 เฉลย ก. ปริมาณตะกอน
- ข้อที่ 7 เฉลย ค. ล้างด้วยสบู่หรือสารซักล้าง น้ำสะอาด และคว่ำลงบนผ้าหรือที่คว่ำเครื่องแก้ว
ทิ้งไว้ให้แห้ง ห้ามใช้กระดาษชำระหรือผ้าเช็ด
- ข้อที่ 8 เฉลย ง. ค่าความเป็นกรด-ด่าง
- ข้อที่ 9 เฉลย ข. ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
- ข้อที่ 10 เฉลย ข. ปริมาณตะกอนถูกย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซมีเทน

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นำหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้
2. เลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ได้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในในความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

บทปฏิบัติการที่ 5 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ ที่จะทำให้ น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

จุดประสงค์การทดลอง

1. บอกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้
2. สามารถนำวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

<u>เวลาที่ใช้</u>	อภิปรายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	30 นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	80 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำคลองแสนแสบ	2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำสบู่	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำปูนขาว	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำปูนแดง	1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมีและอุปกรณ์ (ต่อ)

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
น้ำมันพืช	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
โซเดียมไฮดรอกไซด์	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
กรดอะซิติก	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ดินเหนียว	20 กรัม
สารส้ม	20 กรัม
ข้าวสุก	20 กรัม

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>อุปกรณ์</u>	
ขวดโหลแก้วขนาด 2 ลิตร	2 ใบ
ปิ๊กเกอร์ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ใบ
ตะแกรงละเอียด	1 อัน
ตะแกรงหยาบ	1 อัน
ผ้าขาวบาง	1 ผืน
กระชอน	1 อัน
แท่งแก้ว	1 แท่ง
กระดาษลิทมัส	10 แผ่น
กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	10 ชิ้น
กระดาษกรอง	5 แผ่น
หลอดหยด	2 หลอด

ครูเตรียมน้ำตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. สารละลายหมายเลข 1 ประกอบด้วย น้ำจากคลองแสนแสบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร + โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร + ข้าวสุก 10 กรัม + ดินเหนียวบดละเอียด 10 กรัม
2. สารละลายหมายเลข 2 ประกอบด้วย น้ำจากคลองแสนแสบ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร + กรดอะซิติก 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร + ข้าวสุก 10 กรัม + ดินเหนียวบดละเอียด 10 กรัม + น้ำมันพืช 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำปูนขาว ประกอบด้วยปูนขาว 200 กรัม ผสมน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำปูนแดง ประกอบด้วยปูนแดง 200 กรัม ผสมน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำสบู่ น้ำสบู่เหลว 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. ดินเหนียว นำมาตากแดดให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด
7. สารส้ม นำมาบดให้ละเอียด

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมสารละลายทุกชนิด และสาธิตวิธีการดมโดยใช้มือพัดกลิ่นมาดมห้ามใช้จมูกดมโดยตรง
2. อธิบายการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองแล้วให้นักเรียนเลือกใช้เอง เช่น การใช้ผ้าขาวบาง การใช้กระดาษกรอง การใช้หลอดหยด กระดาษลิทมัส กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
3. ให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
4. ติดป้ายชื่อสารละลายทุกชนิดที่นำมาทำการทดลอง
5. ทำการทดลองโดยใช้ความรู้จากบทปฏิบัติการที่ 1-4 มาช่วยในการทดลอง
6. บันทึกผลการทดลอง อภิปราย และสรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้บันทึกไว้

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	กรด	เบส	pH	ตกตะกอน	ไม่ ตกตะกอน	การปรับปรุง คุณภาพน้ำ
สารละลาย หมายเลข 1		/	12	/	/	- ใช้สารส้มเติมลงไปเพื่อให้ตกตะกอน และปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง - กรองโดยใช้ตะแกรงละเอียด - กรองโดยใช้ตะแกรงละเอียดรองด้วยผ้าขาวบาง - กรองด้วยกระดาษกรอง

ผลการทดลอง (ต่อ)

น้ำตัวอย่าง	กรด	เบส	pH	ตกตะกอน	ไม่ ตกตะกอน	การปรับปรุง คุณภาพน้ำ
สารละลาย หมายเลข 2	/		4	/	/	- ใช้กระชอนช้อนคราบไขมัน - ใช้น้ำปูนขาว หรือน้ำปูนแดงปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง - กรองโดยใช้ตะแกรงละเอียด - กรองโดยใช้ตะแกรงละเอียดรองด้วยผ้าขาวบาง - กรองด้วยกระดาษกรอง

อภิปรายผลหลังการทดลอง

1. ให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองบนกระดานดำ
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

2.1 สารละลายหมายเลข 1 เมื่อตรวจสอบด้วยสายตาจะเห็นสารละลายสีน้ำตาลอ่อน และมีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ตกตะกอน และขนาดเล็กจำนวนมากที่ไม่ยอมตกตะกอน แล้วจึงตรวจสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ปรากฏว่ามีค่า pH 12 แสดงว่าเป็น “เบส” ต่อจากนั้นเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ขั้นที่ 1 ทำการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อปรับสภาพเบสให้เป็นกลางโดยใช้สารเคมีที่ครูเตรียมไว้ให้นั้นคือสารส้ม ก่อนที่จะนำสารส้มมาใช้จะต้องตรวจด้วยกระดาษลิตมัสเสียก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าสารส้มนั้นมีสภาพเป็นกรด ในขณะที่ใช้สารส้มบดละเอียดเติมลงไปในสารละลายควรเติมทีละน้อยแล้วคนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากันเพื่อให้มีสภาพเป็นกลาง และตกตะกอน ในการทดลองควรใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์วัดเป็นระยะๆ

ขั้นที่ 2 ทำการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ โดยใช้ตะแกรงละเอียดกรองสารละลายครั้งที่ 1 เมื่อกรองเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ใช้ตะแกรงละเอียดรองด้วยผ้าขาวบางทำการกรองเป็นครั้งที่ 2 เพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลาย จากนั้นถ้ายังมีตะกอนขนาดเล็กอยู่ในสารละลาย ให้กรองด้วยกระดาษกรองหรือตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนเล็กๆ ตกกลงรวมตัวกันที่ก้นภาชนะ

2.1 สารละลายหมายเลข 2 เมื่อตรวจสอบด้วยสายตาจะเห็นสารละลายสีน้ำตาลอ่อน มีคราบน้ำมันลอยอยู่บนผิวน้ำ มีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ตกตะกอน และขนาดเล็กจำนวนมากที่ยังไม่ยอมตกตะกอน แล้วจึงตรวจสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ปรากฏว่ามีค่า pH 4 แสดงว่าเป็น “กรด” ต่อจากนั้นเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ขั้นที่ 1 ทำการบำบัดโดยการช้อนคราบไขมันที่อยู่เหนือผิวน้ำออกเสียก่อน

ขั้นที่ 2 ทำการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อปรับสภาพกรดให้เป็นกลางโดยใช้สารเคมีที่ครูเตรียมไว้ให้ นั่นคือน้ำปูนขาวโดยรินเอามาแต่น้ำใสๆ มาปรับสภาพสารละลายหมายเลข 2 ในขณะที่ใช้น้ำปูนขาวปรับสภาพควรเทลงไปทีละน้อย และตรวจสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จนกว่าจะมีสภาพเป็นกลาง

ขั้นที่ 3 ทำการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ โดยใช้ตะแกรงละเอียดกรองสารละลายหมายเลข 2 เมื่อกรองเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ใช้ตะแกรงละเอียดรองด้วยผ้าขาวบางทำการกรองเป็นครั้งที่ 2 เพื่อแยกเอาตะกอนออกจากสารละลาย จากนั้นถ้ายังมีตะกอนขนาดเล็กอยู่ละลายในสารละลายอยู่มาก ให้กรองด้วยกระดาษกรองหรือตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนเล็กๆ ตกกลงรวมตัวกันที่ก้นภาชนะ

แนวคำตอบคำถามทำแบบปฏิบัติการ

ข้อที่ 1 เฉลย ง. สารปนเปื้อน

ข้อที่ 2 เฉลย ค. ค่าที่บอกความเป็นกรด-ด่าง

ข้อที่ 3 เฉลย ง. กรองด้วยตะแกรงหยาบ

ข้อที่ 4 เฉลย ง. การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ข้อที่ 5 เฉลย ข. ทักชะการสังเกต

ข้อที่ 6 เฉลย ง. น้ำใส และมีตะกอนก้นถัง

ข้อที่ 7 เฉลย ค. ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของสัตว์น้ำ

ข้อที่ 8 เฉลย ข. เป็นแผ่น

ข้อที่ 9 เฉลย ข. เพื่อรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ข้อที่ 10 เฉลย ข. ใช้แท่งแก้วคนสารในทิศทางเดียวกัน ไม่ให้กระทบกันและด้านข้างของภาชนะ
หลังใช้เสร็จล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง และเก็บให้เรียบร้อย

ภาคผนวก จ

แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ช่วงชั้นที่ 3 (ม.2)

เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

เวลา 2 คาบ

สาระสำคัญ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือ การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การสังเกตรวมทั้งการใช้อุปกรณ์ และสารเคมีที่หาได้ง่าย ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น อุณหภูมิ สี ความขุ่น กลิ่น ความเป็นกรด-ด่าง และดูปริมาณสารแขวนลอย เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะดังกล่าวของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมและมีค่าต่างจากเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้ง ก็หมายความว่าน้ำนั้นมีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่มากเรียกน้ำนั้นว่า น้ำเสีย

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถบอกใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
2. นักเรียนสามารถบอกคุณภาพของน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีได้
3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

สาระการเรียนรู้

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นเป็นการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การสังเกตรวมทั้งการใช้อุปกรณ์ และสารเคมีที่หาได้ง่าย ซึ่งลักษณะทางกายภาพที่ทำการตรวจสอบ คือ

1. ความเป็นกรด-ด่าง เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแสดงเป็นตัวเลขที่บอกระดับความเป็นกรดหรือด่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้า pH มีค่าเป็น 7 แสดงว่ามีสภาวะเป็นกลาง ถ้า pH มีค่า 0-7 แสดงว่าน้ำนั้นเป็นกรด ถ้า pH มีค่า 7-14 แสดงว่ามีสภาวะเป็นด่าง
2. อุณหภูมิ แสดงถึงระดับความร้อนของน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดได้จากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงลงสู่แหล่งน้ำ หรือการที่แสงส่องผ่านลงไปแหล่งน้ำ
3. กลิ่น ในน้ำกลิ่นเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ

4. สี ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มองเห็นนั้นเป็นสีปรากฏมาจากแสงที่ส่องลงในน้ำเกิดการกระจายของแสงโดยโมเลกุลน้ำกลับเข้าสู่ตาเรา การที่ปรากฏสีของแหล่งน้ำเป็นสีต่างกันเพราะอนุภาคต่างๆที่แขวนลอยในน้ำสามารถดูดกลืนและกระจายแสงกลับคืนสู่ตาเราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและขนาดของอนุภาค

5. ตะกอน คือปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

- 1) ครู และนักเรียนสนทนาในลักษณะถาม-ตอบถึงสถานการณ์ของน้ำในปัจจุบัน
 - คุณภาพของแหล่งน้ำเป็นอย่างไร (ปัญหาน้ำเสีย)
 - ปัญหาน้ำเสียเกิดจากสาเหตุใด
 - นักเรียนรู้อย่างไรว่าแหล่งน้ำต่างๆ เกิดการเน่าเสีย
- 2) หลังจากนักเรียนเสนอวิธีการสังเกตน้ำเสีย ครูถามนักเรียนต่อไปถึงวิธีการในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ
- 3) ครูแจ้งเนื้อหา และจุดประสงค์ในการเรียนให้นักเรียนรับทราบ

ขั้นสอน

- 1) ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนกลุ่มละ 5 คน โดยผสมกันระหว่างเด็กเก่ง ปานกลาง และเด็กอ่อน เพื่อทำการทดลอง เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 2) ครูแจกเอกสารประกอบบทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 3) แต่ละกลุ่มศึกษาใบความรู้จากเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ จากนั้นครูสุ่มแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอผลจากการศึกษาใบความรู้
- 4) ครูชี้แจงก่อนการทดลอง ดังนี้
 - ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
 - แนะนำวิธีการดมสารเคมี
 - การใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
 - วิธีทำการทดลอง
 - การเสนอข้อมูลการทดลอง
 - ข้อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ
- 5) นักเรียนทำการทดลอง

6) ในระหว่างนักเรียนทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงาน ตลอดจนให้คำปรึกษา รวมถึงแนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลอง

7) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ขั้นสรุป

- 1) ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน
- 2) ครู และนักเรียนร่วมกันสรุป ในหัวข้อต่อไปนี้
 - ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย
 - คุณภาพของน้ำจากการตรวจสอบ
 - ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างน้ำตัวอย่างกับน้ำสะอาด
- 3) นักเรียนตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ
- 4) มอบหมายภาระงานให้นักเรียน
 - เตรียมน้ำตัวอย่างมาทำการทดลองครั้งต่อไป

สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- 1) ใบความรู้
- 2) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ
- 3) น้ำตัวอย่าง
- 4) อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

การวัด และประเมินผล

- 1) สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) สังเกตการทำงานภายในกลุ่ม
- 3) สังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) ตรวจเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และประเมินผล

- 1) แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) แบบประเมินการทำงานกลุ่ม
- 3) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน
...../...../.....

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ช่วงชั้นที่ 3 (ม.2)

เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

เวลา 2 คาบ

สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ การกำจัดของเสียที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ตะแกรง ตะกร้า ผ้าขาวบาง กระชอน ถังตกตะกอน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ในท้องถิ่นมาใช้ในการบำบัด เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนที่จะนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไป

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพได้
2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธี และอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพได้

สาระการเรียนรู้

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ เป็นการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการบำบัดเพื่อลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสีย ได้แก่ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด ถังตกกรวดทราย ถังตกตะกอน ถังดักไขมัน และน้ำมัน

ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ เป็นการบำบัดที่ง่ายและไม่เปลืองค่าใช้จ่ายแต่มีข้อจำกัด คือ น้ำที่ได้จากการบำบัดยังไม่มีคุณภาพพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

- 1) ครูสนทนาโต้ตอบกับนักเรียนถึงการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ และวิธีการทางเคมี
- 2) ครูถามนักเรียนว่านอกจากวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ และวิธีการทางเคมี ยังมีวิธีใดอีกโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนยกมือตอบคำถาม
 - การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 3) ครูแจ้งเนื้อหา และจุดประสงค์ในการเรียนให้นักเรียนรับทราบ

ขั้นสอน

- 1) ครูแบ่งกลุ่มเพื่อให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 2) ครูแจกจึกซ์อวตัวอย่างรูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเพื่อทำการแข่งขัน
- 3) ครูแจกเอกสารประกอบบทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
- 4) แต่ละกลุ่มศึกษาใบความรู้จากเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ ประกอบกับการบรรยายสนทนาในลักษณะถาม-ตอบถึงรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยใช้สื่อการสอน ประเภท Multimedia ได้แก่ Power point
- 5) ครูนำตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพให้นักเรียนได้ศึกษา
 - ตะแกรง
 - ถังดักไขมัน
 - ถังตกตะกอน
 - ถังดักกรวดทราย
- 6) ครูชี้แจงก่อนการทดลอง ดังนี้
 - ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
 - การใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
 - วิธีทำการทดลอง
 - การเสนอข้อมูลการทดลอง
 - ข้อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ
- 7) นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลอง
- 8) นักเรียนทำการทดลองตามที่กลุ่มของตนเองออกแบบไว้
- 9) ในระหว่างนักเรียนทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงาน ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด
- 10) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ขั้นสรุป

- 1) ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอการออกแบบวิธีการทดลอง และผลการทดลอง
- 2) ครู และนักเรียนร่วมกันสรุป ในหัวข้อต่อไปนี้
 - ขั้นตอน และหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
 - การเลือกใช้อุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการทางกายภาพ

- 3) นักเรียนตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- 1) จี๊ซอร์
- 2) ใบความรู้
- 3) น้ำตัวอย่าง
- 4) Power point
- 5) อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์
- 6) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ
- 7) อุปกรณ์การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

การวัด และประเมินผล

- 1) สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) สังเกตการทำงานภายในกลุ่ม
- 3) สังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) ตรวจเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และประเมินผล

- 1) แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) แบบประเมินการทำงานกลุ่ม
- 3) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน

...../...../.....

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ช่วงชั้นที่ 3 (ม.2)

เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

เวลา 2 คาบ

สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี คือ การกำจัดน้ำที่มีความเป็นกรดหรือเบสที่สูงเกินไป โดยใช้วิธีทำให้น้ำเป็นกลาง น้ำเสียที่มีความเป็นกรดสามารถทำเป็นกลางได้โดยใช้ปูนขาว โซดาไฟ หรือโซดาแอช ส่วนน้ำเสียที่เป็นเบสทำเป็นกลางโดยการเติมกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสียได้
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้

สาระการเรียนรู้

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้
ความเป็นกรดหรือเบสสูงเกินไป มีโลหะหนักที่เป็นพิษ มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนยาก มีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ มีสารประกอบอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ และมีเชื้อโรค

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่ไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางชีวภาพได้ แต่ข้อเสียคือจะมีปริมาณสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีด้วย

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

- 1) ครูให้นักเรียนออกมาเล่าถึงวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในบ้านเรือน หรือสถานที่ต่างๆ ที่พบเห็น
- 2) หลังจากนั้นครูทบทวน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ จากการถาม-ตอบ โดยให้นักเรียนทุกคนร้องเพลงประจำโรงเรียน แล้วส่งกล่องบรรจุคำถามไปตามแถว เมื่อครูเป่านกหวีดกล่องบรรจุคำถามอยู่ที่นักเรียนคนใด นักเรียนคนนั้นต้องตอบคำถามตามที่ตนเองได้รับจากกล่องคำถาม
- 3) ครูแจ้งเนื้อหา และจุดประสงค์ในการเรียนให้นักเรียนรับทราบ

ขั้นสอน

- 1) ครูให้นักเรียนนั่งประจำกลุ่มเหมือนกับกลุ่มตอนทำการทดลองบทปฏิบัติการที่ 2 เพื่อทำการทดลอง เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- 2) ครูแจกเอกสารประกอบบทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
- 3) แต่ละกลุ่มศึกษาใบความรู้จากเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ ประกอบกับการบรรยายสนทนาในลักษณะถาม-ตอบถึงรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยใช้สื่อการสอนประเภท Multimedia ได้แก่ Power point
- 4) ครูนำตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีให้นักเรียนศึกษา พร้อมทั้งบรรยายเพิ่มเติมถึงลักษณะเฉพาะของสารเคมีแต่ละชนิด
 - สารส้ม
 - ปูนขาว
 - โซดาไฟ
 - คลอรีน
- 5) ครูชี้แจงก่อนการทดลอง ดังนี้
 - ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
 - แนะนำวิธีการดมสารเคมี
 - การใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
 - วิธีทำการทดลอง
 - การเสนอข้อมูลการทดลอง
 - ข้อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ
- 6) นักเรียนทำการทดลอง
- 7) ในระหว่างนักเรียนทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงาน ตลอดจนให้คำปรึกษา รวมถึงแนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด
- 8) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ขั้นสรุป

- 1) ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน
- 2) ครู และนักเรียนร่วมกันสรุป ในหัวข้อต่อไปนี้
 - หลัก และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

- ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตัวอย่าง
 - ชนิด และปริมาณของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการปรับสภาพให้เป็นกลาง
- 3) นักเรียนตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ
 - 4) มอบหมายภาระงานให้นักเรียน
 - เตรียมน้ำตัวอย่างมาทำการทดลองครั้งต่อไป

สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- 1) ใบความรู้
- 2) น้ำตัวอย่าง
- 3) Power point
- 4) อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์
- 5) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

การวัด และประเมินผล

- 1) สังเกตพฤติกรรมการรายบุคคล
- 2) สังเกตการทำงานภายในกลุ่ม
- 3) สังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) ตรวจเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และประเมินผล

- 1) แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมการรายบุคคล
- 2) แบบประเมินการทำงานกลุ่ม
- 3) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน
...../...../.....

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ช่วงชั้นที่ 3 (ม.2)

เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

เวลา 2 คาบ

สาระสำคัญ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ คือ การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการ และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนได้ และไม่ใช้ออกซิเจนได้
2. นักเรียนสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้
3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้

สาระการเรียนรู้

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ การใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน
2. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีกว่าแบบใช้ออกซิเจนคือ เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องการหมุนเวียนตะกอน และได้ก๊าซมีเทน

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

- 1) ครูสนทนากับนักเรียนถึงกรณีของน้ำเสีย และวิธีการบำบัด
 - แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย
 - สาเหตุน้ำเสียที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ
 - ข้อควรปฏิบัติก่อนปล่อยน้ำเสีย

2) หลังจากครูสนทนากับนักเรียน ครูให้ตัวแทนนักเรียนยกตัวอย่างวิธีการบำบัดน้ำเสียที่นักเรียนรู้จักมาคนละ 1 วิธี

- การใช้กังหันน้ำชัยพัฒนา
- การใช้ตะแกรงดักขยะก่อนปล่อยน้ำทิ้ง
- การใช้จุลินทรีย์บำบัด

3) ครูแจ้งเนื้อหา และจุดประสงค์ในการเรียนให้นักเรียนรับทราบ

ขั้นสอน

1) ครูให้นักเรียนนั่งประจำกลุ่มเหมือนกับกลุ่มตอนทำการทดลองบทปฏิบัติการที่ 1 เพื่อทำการทดลอง เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

2) ครูแจกเอกสารประกอบบทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

3) แต่ละกลุ่มศึกษาใบความรู้จากเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ ประกอบกับการบรรยาย สอนหน้าในลักษณะถาม - ตอบถึงรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยใช้สื่อการสอน ประเภท Multimedia ได้แก่ Power point

4) ครูชี้แจงก่อนการทดลอง ดังนี้

- ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
- แนะนำวิธีการดมสารเคมี
- การใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
- วิธีทำการทดลอง
- การเสนอข้อมูลการทดลอง
- ข้อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ

5) นักเรียนทำการทดลอง

6) ในระหว่างนักเรียนทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงาน ตลอดจนให้คำปรึกษา รวมถึงแนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด

7) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ขั้นสรุป

- 1) ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน
- 2) ครู และนักเรียนร่วมกันสรุป ในหัวข้อต่อไปนี้
 - หลัก และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
 - ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน
 - เปรียบผลจากบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน
 - ข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
- 3) นักเรียนตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ
- 4) มอบหมายภาระงานให้นักเรียน
 - เตรียมน้ำตัวอย่างมาทำการทดลองครั้งต่อไป

สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- 1) ใบความรู้
- 2) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ
- 3) น้ำตัวอย่าง
- 4) อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์
- 5) ขวดน้ำพลาสติก

การวัด และประเมินผล

- 1) สังเกตพฤติกรรมการรายบุคคล
- 2) สังเกตการทำงานภายในกลุ่ม
- 3) สังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) ตรวจเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และประเมินผล

- 1) แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมการรายบุคคล
- 2) แบบประเมินการทำงานกลุ่ม
- 3) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน
...../...../.....

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ช่วงชั้นที่ 3 (ม.2)

เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

เวลา 2 คาบ

สาระสำคัญ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ คือ ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นก่อนแล้วจึงนำน้ำเสียไปทำการบำบัดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ทางชีวภาพ ทางกายภาพ และทางเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถนำหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้
2. นักเรียนสามารถเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ได้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย

สาระการเรียนรู้

การปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นกระบวนการที่จะทำให้น้ำที่ถูกปนเปื้อนมีคุณภาพดีเพียงพอกับการใช้สำหรับการอุปโภค บริโภค ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพน้ำจึงแตกต่างกันไปตามชนิดและความรุนแรงของสารปนเปื้อน

การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไปอาจแบ่งตามจุดประสงค์ได้ 2 ลักษณะ คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนนำไปใช้ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียก่อนระบายทิ้ง

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

- 1) ครูทบทวนรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียในบทปฏิบัติการ 1-4 โดยใช้สื่อการสอนประเภท Multimedia ได้แก่ Power point
- 2) นักเรียนคู่วิธีการบำบัดน้ำเสีย กับอุปกรณ์หรือสารเคมีให้มีความสัมพันธ์กัน เช่น
 - การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ คู่กับ ตะแกรงทราย
 - การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี คู่กับ สารส้ม
- 3) ครูแจ้งเนื้อหา และจุดประสงค์ในการเรียนให้นักเรียนรับทราบ

ขั้นสอน

- 1) ครูให้นักเรียนนั่งประจำกลุ่มเหมือนกับกลุ่มตอนทำการทดลองบทปฏิบัติการที่ 4 เพื่อทำการทดลอง เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

- 2) ครูแจกเอกสารประกอบบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
- 3) นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาใบความรู้จากเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ
- 4) ครูชี้แจงก่อนการทดลอง ดังนี้
 - ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
 - การใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
 - วิธีทำการทดลอง
 - การเสนอข้อมูลการทดลอง
 - ข้อปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ
- 5) นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลอง และตารางบันทึกผลการทดลอง
- 6) นักเรียนทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลองตามที่ออกแบบไว้
- 7) ในระหว่างนักเรียนออกแบบการทดลอง ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงานตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด
- 8) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ขั้นสรุป

- 1) ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอการออกแบบการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลอง และผลการทดลอง
- 2) ครู และนักเรียนร่วมกันสรุป ในหัวข้อต่อไปนี้
 - หลัก และวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น
- 3) นักเรียนตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- 1) ใบความรู้
- 2) น้ำตัวอย่าง
- 3) Power point
- 4) รูปตัวอย่างน้ำเสีย
- 5) อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์
- 6) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

การวัด และประเมินผล

- 1) สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) สังเกตการทำงานภายในกลุ่ม

- 3) สังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) ตรวจเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และประเมินผล

- 1) แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 2) แบบประเมินการทำงานกลุ่ม
- 3) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจในการทำงาน
- 4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน
...../...../.....

แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

คำชี้แจง ให้ผู้ประเมินใส่เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างตามความเป็นจริง
 3 หมายถึง ดี 2 หมายถึง ปานกลาง 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

ที่	พฤติกรรม ชื่อ - สกุล	ความสนใจ			การแสดงความคิดเห็น			การตอบคำถาม			การยอมรับฟังผู้อื่น			ทำงานตามที่ได้รับมอบหมาย			รวมคะแนน
		3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
/...../.....

แบบประเมินการทำงานกลุ่ม

ชื่อผู้ประเมิน.....วัน/เดือน/ปี.....
 ชื่อกลุ่ม..... ห้อง..... ชื่อบทปฏิบัติการ.....

คำชี้แจง ให้ผู้ประเมินใส่เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างตามความเป็นจริง

4 หมายถึง ดีมาก 3 หมายถึง ดี 2 หมายถึง พอใช้ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

รายการ	4	3	2	1	ข้อเสนอแนะ
เนื้อหา					
1. ความถูกต้องของเนื้อหา					
2. การลำดับความคิด					
3. การสรุปความคิดเห็น					
รูปแบบการนำเสนอ					
1. น่าสนใจ					
2. ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์					
การทำงานกลุ่ม					
1. การเตรียมตัว					
2. การทำงานเป็นระบบ					
3. การมีส่วนร่วมของสมาชิก					
4. ความภูมิใจในผลงานของสมาชิก					
เกณฑ์การประเมิน ร้อยละ 80 ขึ้นไป ระดับ ดีมาก ร้อยละ 70 – 79 ระดับ ดี ร้อยละ 60 – 69 ระดับ พอใช้ ต่ำกว่าร้อยละ 60 ระดับ ปรับปรุง	สรุปการประเมินผลงานกลุ่ม รวมได้คะแนน..... คิดเป็นร้อยละ..... อยู่ในเกณฑ์.....				

แบบบันทึกการสังเกตความตั้งใจทำงาน

ชื่อนักเรียน.....ห้อง.....วัน/เดือน/ปี.....
 ครั้งที่.....ผู้สังเกต.....

คำชี้แจง ให้ผู้ประเมินใส่เครื่องหมาย / ลงในช่องว่างตามความเป็นจริง

4 หมายถึง ดีมาก 3 หมายถึง ดี 2 หมายถึง พอใช้ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

ลำดับที่	พฤติกรรม	ทำ	ไม่ทำ
1.	ทำงานทุกครั้งที่ได้รับมอบหมาย		
2.	เตรียมอุปกรณ์ครบตามที่ครูสั่ง		
3.	ทำงานเสร็จทันเวลาที่กำหนด		
4.	ไม่รบกวนผู้อื่นในเวลาทำงาน		
5.	แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยตนเอง		
6.	ตรวจผลงานก่อนส่ง		
	รวมคะแนน		

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
/...../.....

การให้คะแนน : 1 = ทำ
 0 = ไม่ทำ

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างแบบประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของ
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

แบบประเมิน
ดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของ
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

โดย : ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง

1. ให้ท่านพิจารณาว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมแต่ละข้อต่อไปนี้มีความสอดคล้องสัมพันธ์กับกิจกรรมที่สร้างขึ้นจริงหรือไม่ ให้ท่านพิจารณาโดยให้คะแนนดังต่อไปนี้
 - +1 = เมื่อท่านแน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับกิจกรรม
 - 0 = เมื่อท่านไม่แน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับกิจกรรม
 - 1 = เมื่อท่านแน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมไม่มีความสอดคล้องกับกิจกรรม
2. ในการประเมินครั้งนี้ให้ท่านทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ท่านพิจารณาแล้วตามเกณฑ์แต่ละข้อ

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
กิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบ คุณภาพน้ำเบื้องต้น	1. นักเรียนสามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้				
	2. นักเรียนสามารถบอกคุณภาพของน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีได้				
	3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้				

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
กิจกรรมที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางกายภาพ	1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการ บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทาง กายภาพได้				
	2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีและ อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทาง กายภาพได้อย่างเหมาะสมกับ ประเภทของน้ำเสีย				
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสีย ของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทาง กายภาพ				
กิจกรรมที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางเคมี	1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการ ของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการ ทางเคมีได้				
	2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีการ บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี ได้อย่างเหมาะสมกับประเภท ของน้ำเสียได้				
	3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการทางเคมีได้				

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
กิจกรรมที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางชีวภาพ	1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการ และวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางชีวภาพแบบใช้ ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้				
	2. นักเรียนสามารถบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน				
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางชีวภาพแบบใช้ ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้				
กิจกรรมที่ 5 การปรับปรุง คุณภาพน้ำ	1. นักเรียนสามารถนำหลักการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นมา ใช้ประโยชน์ในการเลือกวิธี ปรับปรุงคุณภาพน้ำได้				
	2. นักเรียนสามารถเลือกวิธีการ บำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ได้ เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย				

แบบประเมิน
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

โดย : ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง

1. การประเมินแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย เพื่อวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องแบ่งคุณลักษณะที่ต้องการประเมินออกได้ ดังนี้

1.1 ความชัดเจนของคำถาม

1.2 ความสอดคล้องกับจุดประสงค์

1.3 ความเหมาะสมของตัวเลือก

2. เกณฑ์การประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลประเมินผล มีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

+1 = เมื่อท่านแน่ใจว่าข้อสอบนั้น สามารถวัดได้ตรงตามพฤติกรรมที่ต้องการวัด

0 = เมื่อท่านไม่แน่ใจว่าข้อสอบนั้น สามารถวัดได้ตรงตามพฤติกรรมที่ต้องการวัด

-1 = เมื่อท่านแน่ใจว่าข้อสอบนั้น ไม่สามารถวัดได้ตรงตามพฤติกรรมที่ต้องการวัด

3. ในการประเมินครั้งนี้ให้ท่านทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ท่านพิจารณาแล้วตามเกณฑ์แต่ละข้อ

4. ในการประเมินครั้งนี้ให้ท่านแก้ไขข้อคำถาม ตัวเลือก และภาษาลงในข้อสอบได้ตามที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม

แบบประเมินแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

[illegible]

[illegible]

แบบประเมินแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

[illegible]

ข้อ ที่	ความชัดเจน ของคำถาม			ความสอดคล้องกับ จุดประสงค์			ความ เหมาะสม ของตัวเลือก			ข้อ ที่	ความชัดเจน ของคำถาม			ความสอดคล้องกับ จุดประสงค์			ความ เหมาะสม ของตัวเลือก		
	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1		+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1
41										51									
42										52									
43										53									
44										54									
45										55									
46										56									
47										57									
48										58									
49										59									
50										60									

ภาคผนวก ซ

แบบทดสอบ และแนวคำตอบแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ด้านต่างๆ

- ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- แนวคำตอบแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- แนวคำตอบแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียนชื่อ – นามสกุล ชั้น เลขที่ ลงในกระดาษคำตอบ
2. ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย X ลงใน ☐ ของคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
3. ข้อสอบมีทั้งหมด 40 ข้อ ใช้เวลาทำ 40 นาที
4. ห้ามนักเรียนทำเครื่องหมายใดๆ ลงในข้อสอบ

1. สิ่งใดสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งชี้คุณภาพของน้ำได้
 - ก. ปริมาณพีชที่มีอยู่ในน้ำ
 - ข. ปริมาณสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ
 - ค. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
 - ง. ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
2. เมื่อจุ่มกระดาษลิตมัสลงในน้ำเสียจากชุมชน ปรากฏว่ากระดาษลิตมัสเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง นักเรียนจะสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับน้ำเสียชุมชนว่าอย่างไร
 - ก. มีสมบัติเป็นกรด
 - ข. มีสมบัติเป็นเบส
 - ค. มีสมบัติเป็นกลาง
 - ง. มีสมบัติเป็นกรด และเบส
3. ข้อใดเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
 - ก. การกำจัดสารอินทรีย์
 - ข. การกำจัดสารอนินทรีย์
 - ค. การกำจัดสารแขวนลอย
 - ง. การกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ
4. น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อแหล่งน้ำสาธารณะอย่างไร
 - ก. น้ำระเหยกลายเป็นไอสู่อากาศได้ดีขึ้น
 - ข. ปริมาณก๊าซออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง
 - ค. เกิดก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำ
 - ง. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้มากขึ้น

5. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุทำให้สิ่งใดในน้ำลดลง
- ก. สารแขวนลอย
 - ข. น้ำมัน และไขมัน
 - ค. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 - ง. จุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน
6. ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือข้อใด
- ก. ประหยัดการเติมออกซิเจน
 - ข. แบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ
 - ค. เพิ่มปริมาณการตกตะกอนให้มากขึ้น
 - ง. ปริมาณสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ในปริมาณมาก
7. การกระทำในข้อใดแสดงถึงวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้ถูกต้อง
- ก. นายขาวใช้มือสัมผัสผิวน้ำเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิ
 - ข. นายดำวัดปริมาณออกซิเจนเมื่อเห็นปลาตายลอยอยู่ผิวน้ำ
 - ค. นายทองเก็บตัวอย่างน้ำส่งให้กรมควบคุมมลพิษตรวจสอบ
 - ง. นายแดงสังเกตสี และตะกอนของน้ำเมื่อผ่านคลองแสนแสบ
8. คราบน้ำมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งชุมชนมีผลทำให้น้ำเสียได้อย่างไร
- ก. น้ำมีเชื้อเพลิงติดไฟง่าย
 - ข. กีดขวางการสัญจรทางน้ำ
 - ค. อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว
 - ง. ออกซิเจนไม่สามารถแพร่ลงในน้ำได้
9. น้ำเสียที่เกิดขึ้นตามแหล่งน้ำต่างๆ เกือบทั่วประเทศมักเกิดมาจากสาเหตุในข้อใดมากที่สุด
- ก. ร้านอาหารริมแม่น้ำมากขึ้น
 - ข. มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น
 - ค. มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น
 - ง. ประชากรส่วนใหญ่ขาดความรับผิดชอบ
10. น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำทำให้ปลาตายได้อย่างไร
- ก. สารพิษในน้ำมันทำให้ปลาตาย
 - ข. ปลาไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์
 - ค. น้ำมันเคลือบเกล็ดทำให้เกล็ดที่ไหม้
 - ง. น้ำมันเคลือบเหงือกทำให้หายใจไม่สะดวก

11. น้ำทิ้งที่เกิดจากการร่อนแร่ทองคำ ถ้านักเรียนจะบำบัดควรใช้วิธีการบำบัดเหมือนกับข้อใด
- ก. น้ำผสมข้าวสุก
 - ข. น้ำที่มีสารแขวนลอย
 - ค. น้ำผสมดินบดละเอียด
 - ง. น้ำผสมเศษกระดาษ
12. ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใดมีส่วนทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำมากที่สุด
- ก. บริเวณชนบท
 - ข. บริเวณชุมชนหนาแน่น
 - ค. บริเวณแหล่งเกษตรกรรม
 - ง. บริเวณแหล่งอุตสาหกรรม
13. ข้อใดเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดกับการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร
- ก. การบำบัดทางเคมี
 - ข. การบำบัดทางชีวเคมี
 - ค. การบำบัดทางชีวภาพ
 - ง. การบำบัดทางกายภาพ
14. น้ำเสียจากแหล่งใดต่อไปนี้ควรใช้การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- ก. น้ำเสียจากบ้านเรือน
 - ข. น้ำเสียจากภัตตาคาร
 - ค. น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์
 - ง. น้ำเสียจากโรงงานกระดาษ
15. เพราะเหตุใดเมื่อถูกน้ำยาล้างห้องน้ำที่เป็นกรดที่มีด่างด้วยสารละลายชนิดน้ำปูนใส
- ก. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นกรด
 - ข. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นเบส
 - ค. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นกลาง
 - ง. เพราะน้ำปูนใสไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณมือ
16. คุณหมึกของน้ำซึ่งสูงเกินกว่ามาตรฐานส่งผลให้เกิดน้ำเสียได้อย่างไร
- ก. สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
 - ข. ลดอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ
 - ค. ลดปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์
 - ง. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำไม่สามารถดำเนินต่อไปได้

17. ถ้านักเรียนพบเห็นโรงงานอุตสาหกรรมลักลอบปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ นักเรียนจะ
ทำอย่างไร
- ก. เดินขบวนต่อต้านการกระทำดังกล่าว
 - ข. อยู่เฉยๆ เพราะเป็นเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวเอง
 - ค. แจ้งเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในท้องถิ่นให้รับทราบ
 - ง. เข้าพบเจ้าของโรงงานเพื่อขอให้หยุดการปล่อยน้ำเสีย
18. เมื่อตรวจสอบน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารกระป๋องพบว่ามีความ pH เท่ากับ 5 นักเรียนจะต้องเติม
สารละลายชนิดใดเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีสภาพเป็นกลาง
- ก. น้ำปูนใส
 - ข. น้ำมะกรูด
 - ค. น้ำมะนาว
 - ง. น้ำยาล้างห้องน้ำ
19. ถ้านักเรียนต้องการบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนของนักเรียนเองควรเลือกใช้วิธีใดจึงจะสะดวกและ
ประหยัดที่สุด
- ก. สร้างระบบบำบัดแบบจานหมุน
 - ข. ใช้ตะแกรงดักเศษอาหารและขยะ
 - ค. ไม่จำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยน้ำทิ้ง
 - ง. ชังน้ำให้ตกตะกอนก่อนปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน
20. การที่นักเรียนสังเกตเห็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีลักษณะใสสามารถบอกได้หรือไม่ว่า
เป็นน้ำดีหรือน้ำเสีย
- ก. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำสะอาด
 - ข. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำเสียทางเคมี
 - ค. บอกไม่ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียก่อน
 - ง. บอกไม่ได้จนกว่าจะทราบข้อมูลการผลิตเบื้องต้นของโรงงาน
21. สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในขยะมูลฝอยทำให้น้ำเน่าเสียได้อย่างไร
- ก. มีก๊าซคลอรีนมากขึ้น
 - ข. ลดปริมาณก๊าซออกซิเจน
 - ค. เพิ่มสารฟอสเฟตให้กับแหล่งน้ำ
 - ง. เพิ่มจำนวนแบคทีเรียในแหล่งน้ำ

22. การบำบัดน้ำเสียวิธีใดมีลักษณะมีลักษณะเดียวกันกับการจับปลาของชาวประมง

- ก. การบำบัดน้ำเสียทางเคมี
- ข. การบำบัดน้ำเสียทางชีวเคมี
- ค. การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ
- ง. การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ

23. การนำน้ำคลองมาใช้ในการด้านอุปโภคควรต้องผ่านกระบวนการใด

- ก. การกลั่น
- ข. การกรอง
- ค. การใส่ปูนขาว
- ง. การแกว่งด้วยสารส้ม

24. น้ำเสียที่มีไขมันปนอยู่ เมื่อได้รับความเย็นแล้วจะมีลักษณะอย่างไร

- ก. เป็นไอ
- ข. เป็นแผ่น
- ค. เป็นของเหลว
- ง. ละลายปนกับน้ำ

25. น้ำชนิดใดที่ขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำมากที่สุด

- ก. น้ำล้างจานที่มีคราบไขมัน
- ข. น้ำคลองที่มีกลิ่นของมูลสัตว์
- ค. น้ำจากตู้เลี้ยงปลาที่มีสาหร่ายเจริญเติบโตอยู่
- ง. น้ำเสียจากโรงเรียนที่มีการปนเปื้อนของเมล็ดข้าวสุก

26. ก๊าซออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในแหล่งน้ำสาธารณะส่วนใหญ่มาจากกระบวนการใด

- ก. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ
- ข. กระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ
- ค. กระบวนการเติมออกซิเจนโดยกังหันน้ำชัยพัฒนา
- ง. กระบวนการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ

27. สาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้น้ำคลองแสนแสบมีแนวโน้มเสื่อมสภาพลงเรื่อยๆ

- ก. พืช และสารพิษในน้ำ
- ข. ตะกอนตกค้างต่างๆ ในน้ำ
- ค. ขยะ และสิ่งปฏิกูลจากชุมชน
- ง. ปริมาณสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

28. จุลินทรีย์ชนิดใดสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีที่สุด

- ก. รา
- ข. ยีสต์
- ค. แบคทีเรีย
- ง. โปรโตซัว

29. น้ำชนิดใดเป็นน้ำเสีย และน้ำสะอาดตามลำดับ

- ก. น้ำล้างจาน น้ำซักผ้า
- ข. น้ำคลอง น้ำมูลสัตว์
- ค. น้ำมูลสัตว์ น้ำบาดาล
- ง. น้ำบาดาล น้ำประปา

30. สารเคมีที่เป็นธาตุอาหารหลักของพืชซึ่งสามารถตรวจพบได้ในน้ำซักผ้าคือข้อใด

- ก. คาร์บอน
- ข. ไนโตรเจน
- ค. ฟอสฟอรัส
- ง. โพแทสเซียม

31. ในการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำถ้าไม่มีสารละลายกรดอะซิติกจะใช้สิ่งใดแทนดีที่สุด

- ก. น้ำฝรั่ง
- ข. น้ำอ้อย
- ค. น้ำมะพร้าว
- ง. น้ำมะม่วงสุก

32. การนำก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียมาใช้เป็นพลังงานส่งผลต่อประชาชนในด้านใด

- ก. ด้านสังคม
- ข. ด้านเศรษฐกิจ
- ค. ด้านอุตสาหกรรม
- ง. ด้านสาธารณสุข

33. ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำคูใดมีความเกี่ยวข้องกันมากที่สุด

- ก. อุณหภูมิกับกลิ่นของน้ำ
- ข. ปริมาณตะกอนกับกลิ่นของน้ำ
- ค. ความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ
- ง. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับอุณหภูมิ

34. สาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีเมื่อปลูกในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ คือข้อใด
- ก. ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสีย
 - ข. ปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย
 - ค. ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในน้ำเสีย
 - ง. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำเป็นต่อการสร้างอาหารของพืช
35. อุปกรณ์ชนิดใดเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของเศษใบไม้ และถุงพลาสติกมากที่สุด
- ก. ผ้าขาวบาง
 - ข. ถังตกตะกอน
 - ค. ตะแกรงหยาบ
 - ง. ตะแกรงละเอียด
36. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนระบบใดที่ไม่สามารถติดตั้งได้ในบริเวณพื้นที่ที่มีชุมชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น
- ก. ระบบบ่อผึ่ง
 - ข. ระบบบ่อเกรอะ
 - ค. ระบบเร่งตะกอน
 - ง. ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ
37. สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผักตบชวาในคลองเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว คือข้อใด
- ก. ได้รับน้ำทิ้งจากโรงงานปุ๋ย
 - ข. ได้รับสิ่งปฏิกูลจากการเกษตร
 - ค. ได้รับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
 - ง. ได้รับน้ำทิ้งจากสารประเภทผงซักฟอก
38. นักสิ่งแวดล้อมเลือกใช้ตะแกรงหยาบในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเพราะเหตุใด
- ก. แยกของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย
 - ข. ลดความยุ่งยากในการดูแลระบบบำบัด
 - ค. มีความคงทน สามารถรองรับขยะในน้ำเสียได้ดี
 - ง. เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกของแบบคที่เรีย

39. จากการทดลองเรื่องการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ นักเรียนใช้เกณฑ์อะไรในการเลือกอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสีย

- ก. ขนาดของสิ่งที่จะเจือปน
- ข. ปริมาณเศษวัสดุต่างๆ
- ค. ปริมาณน้ำเสียที่จะนำมาบำบัด
- ง. ขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้ทดลอง

40. แหล่งน้ำบริเวณหน้าโรงงานน้ำมันเครื่องมักเน่าเสีย เนื่องจากสาเหตุใด

- ก. น้ำทิ้งมีอุณหภูมิสูง
- ข. น้ำทิ้งมีผงซักฟอกปนอยู่มาก
- ค. น้ำทิ้งมีสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในการผลิต
- ง. น้ำทิ้งมีคราบน้ำมันขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนในน้ำ

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียนชื่อ – นามสกุล ชั้น เลขที่ ลงในกระดาษคำตอบ
2. ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย X ลงใน ☐ ของคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
3. ข้อสอบมีทั้งหมด 40 ข้อ ใช้เวลาทำ 40 นาที
4. ห้ามนักเรียนทำเครื่องหมายใดๆ ลงในข้อสอบ

1. เพราะเหตุใดการวัดปริมาตรต่างๆ ของน้ำตัวอย่างจึงต้องมีหน่วยการวัด
 - ก. เพื่อให้เข้าใจตรงกัน
 - ข. เพื่อให้เกิดความแม่นยำ
 - ค. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียด
 - ง. เพื่อให้บันทึกข้อมูลเป็นตัวเลขได้
2. ตัวอย่างน้ำชนิดใดที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับคลองแสนแสบมากที่สุด
 - ก. น้ำซักผ้า
 - ข. น้ำล้างจาน
 - ค. น้ำส้มสายชู
 - ง. น้ำยาล้างห้องน้ำ
3. หน่วยการวัด “ลูกบาศก์เซนติเมตร” มาจากการใช้เครื่องมือวัดชนิดใด
 - ก. หลอดหยด
 - ข. pH มิเตอร์
 - ค. กระบอกตวง
 - ง. เทอร์โมมิเตอร์
4. การทดสอบน้ำจากตู้เลี้ยงปลาในบีกเกอร์โดยวิธีการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ควรปฏิบัติอย่างไร
 - ก. หย่อนกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ลงไปในบีกเกอร์
 - ข. ใช้ปากคีบจับกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จุ่มลงในน้ำจากตู้เลี้ยงปลา
 - ค. เอียงบีกเกอร์แล้วนำกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ไปแตะที่ปากบีกเกอร์
 - ง. ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำจากตู้เลี้ยงปลาแล้วนำไปแตะกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก

5. การปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ประกอบด้วยกรดอะซิติก ข้าวสุก ดินเหนียว และน้ำมันพืชควรปฏิบัติอย่างไร ให้เรียงลำดับการปฏิบัติตามข้อ 1-4

1. กรองด้วยกระดาษกรอง
2. ช้อนคราบน้ำมัน
3. กรองโดยใช้ตะแกรงละเอียด
4. ปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง

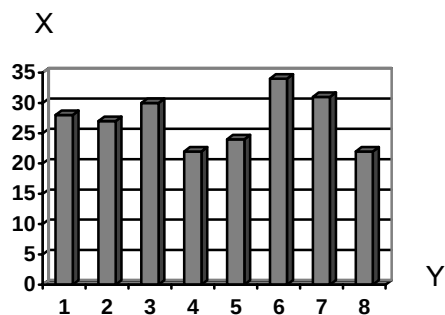
ก. 1, 2, 3, 4

ข. 2, 3, 1, 4

ค. 2, 4, 3, 1

ง. 1, 4, 2, 3

6. จากกราฟต่อไปนี้ นักเรียนจะได้รับความรู้ในข้อใด



- ก. การเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำตัวอย่าง
- ข. การเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง
- ค. การเปรียบเทียบสีของน้ำของน้ำตัวอย่าง
- ง. การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำตัวอย่าง

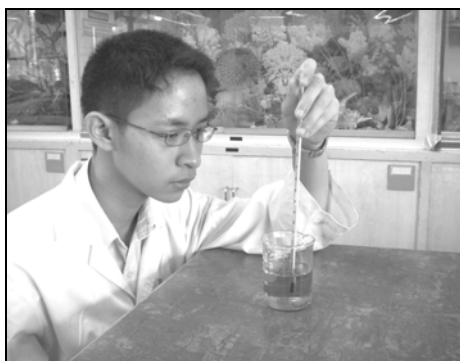
7. หลอดแก้วของเทอร์โมมิเตอร์มีลักษณะอย่างไร

- ก. ปลายปิดทั้งสองข้าง
- ข. ปลายเปิดทั้งสองข้าง
- ค. ปลายปิดข้างหนึ่ง และปลายเปิดอีกข้างหนึ่ง
- ง. อาจเป็นไปได้ทั้งข้อ ก, ข และ ค

8. อุปกรณ์ข้อใดเหมาะสำหรับการวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาล้างห้องน้ำมากที่สุด

- ก. กระดาษขมิ้น
- ข. กระดาษลิตมัส
- ค. กระดาษกรอง
- ง. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

9. ถ้าต้องการแสดงปริมาณของการปล่อยน้ำเสียจากการเกษตรกับโรงงานอุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2550 ควรนำเสนอข้อมูลในรูปแบบใด
- ก. ตาราง
 - ข. กราฟ
 - ค. แผนภูมิ
 - ง. การบรรยาย
10. ถ้าต้องการตรวจสอบว่าน้ำตัวอย่างชนิดใดที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำเสียชุมชนควรทำอย่างไรเป็นอันดับแรก
- ก. วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ
 - ข. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
 - ค. สังเกตสี กลิ่น และตะกอน
 - ง. สังเกตปริมาณขยะที่ลอยอยู่ผิวน้ำ
11. ข้อใดไม่ใช่ข้อปฏิบัติสำหรับการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- ก. ใช้ด้วยความระมัดระวัง
 - ข. ทำความสะอาดและเช็ดให้แห้งหลังเลิกใช้
 - ค. สลับเทอร์โมมิเตอร์ก่อนและหลังการใช้ทุกครั้ง
 - ง. อ่านอุณหภูมิขณะกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ยังอยู่ในสิ่งที่วัด
12. จากภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าอะไร



- ก. วัดค่า pH
- ข. วัดค่าอุณหภูมิ
- ค. วัดค่าคลอรีน
- ง. วัดค่าความเข้มข้นของสาร

13. การใช้หลอดหยดในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. ดูดของเหลวเต็มหลอด บีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยด เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง แล้วเก็บไว้
- ข. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ บีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยด เสร็จแล้วเก็บไว้ทันที
- ค. ดูดของเหลวเต็มหลอด บีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง แล้วเก็บไว้
- ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ บีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้วสะบัดให้แห้ง

14. เมื่อแก้วสารส้มในถังน้ำจากคลองแสนแสบแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ นักเรียนจะสังเกตเห็นสิ่งใด

- ก. น้ำใส
- ข. น้ำขุ่น
- ค. น้ำมีตะกอน
- ง. น้ำใส และมีตะกอนก้นถัง

15. การวัดความกว้างของขวดโหลพลาสติกควรเลือกใช้เครื่องมือชนิดใด

- ก. ไม้ทึ
- ข. สายวัด
- ค. ตลับเมตร
- ง. ไม้บรรทัด

16. นักเรียนต้องการปรับปรุงคุณภาพน้ำขี้เถ้าให้เหมือนกับน้ำมะขามเปียกควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. เติมน้ำสบู่
- ข. เติมน้ำกลั่น
- ค. เติมน้ำมะกรูด
- ง. เติมน้ำปูนแดง

17. ถ้าน้ำในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่มีการปนเปื้อนของเศษวัสดุที่ลอยน้ำได้ นักเรียนจะเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีใดเพื่อจะให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

- ก. หยิบออกด้วยมือ
- ข. ตักออกด้วยกระชอน
- ค. กรองด้วยผ้าขาวบาง
- ง. กรองด้วยตะแกรงหยาบ

18. เครื่องมือชนิดใดใช้วัดปริมาตรโดยประมาณของของเหลว

- ก. ปีเปต
- ข. ปีกเกอร์
- ค. หลอดฉีดยา
- ก. กระบอกตวง

19. ถ้าจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนหยดของกรด-เบสที่ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกลางควรเลือกใช้ตารางในข้อใด

ก.

น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยด		สภาพเป็นกลาง
	กรด	เบส	

ข.

สภาพเป็นกลาง	จำนวนหยด		น้ำตัวอย่าง
	กรด	เบส	

ค.

น้ำตัวอย่าง	สภาพเป็นกลาง	จำนวนหยด	
		กรด	เบส

ง.

จำนวนหยด		สภาพเป็นกลาง	น้ำตัวอย่าง
กรด	เบส		

20. ถ้านักเรียนต้องการหาปริมาตรของน้ำเสีย ควรใช้วิธีใดดีที่สุด

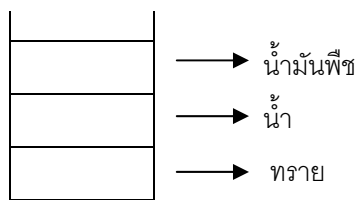
- ก. การวัด
- ข. การชั่ง
- ค. การตวง
- ง. การคำนวณ

21. ถ้านักเรียนต้องการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรปฏิบัติอย่างไร

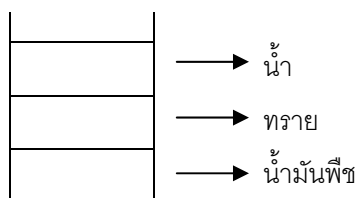
- ก. นำน้ำเสียใส่ขวดเปิดและปิดจุกขวดวันเว้นวัน
- ข. นำน้ำเสียใส่ขวดปิดจุกขวดตลอดการทดลอง
- ค. นำน้ำเสียใส่ขวดเปิดจุกขวดตลอดการทดลอง
- ง. นำน้ำเสียใส่ขวดเต็มออกซิเจนลงไปในช่วงตลอดเวลา

22. สารต่อไปนี้มีน้ำมันพืช ทরาย และน้ำ ถ้าอยู่ปนกันจะเป็นไปตามข้อใด

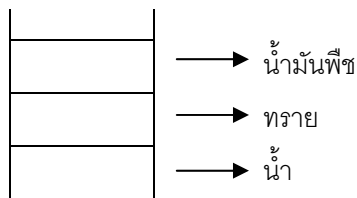
ก.



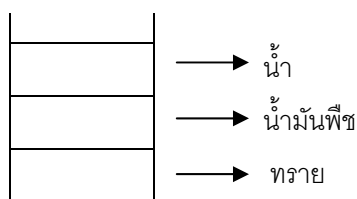
ข.



ค.



ง.

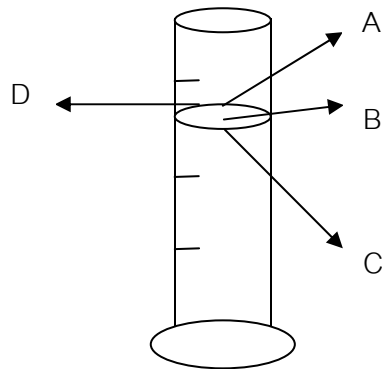


23. จากการทดลองตรวจสอบน้ำกลั่น น้ำประปา น้ำคลอง และน้ำเสียจากชุมชน น้ำชนิดใดจัดอยู่ใน

ประเภทเดียวกัน

- ก. น้ำประปา กับ น้ำกลั่น
- ข. น้ำประปา กับ น้ำคลอง
- ค. น้ำเสียจากชุมชน กับ น้ำกลั่น
- ง. น้ำเสียจากชุมชน กับ น้ำประปา

24. การวัดปริมาตรในกระบอกตวงควรอ่านค่าที่อักษรตัวใด



- ก. A
- ข. B
- ค. C
- ง. D

25. การกรองน้ำตัวอย่างควรปฏิบัติอย่างไร ให้เรียงลำดับการปฏิบัติตามข้อ 1-5

1. พับกระดาษกรอง
2. ทำกระดาษกรองให้เปียก
3. วางกระดาษกรองให้แนบกรวย
4. รินสารผ่านแท่งแก้ว ให้ปลายแท่งแก้วแตะกระดาษกรองด้านที่หนา
5. ใส่กรวยกรองลงในภาชนะรองรับ โดยให้ก้านกรวยแตะข้างภาชนะที่รองรับเหนือของเหลว

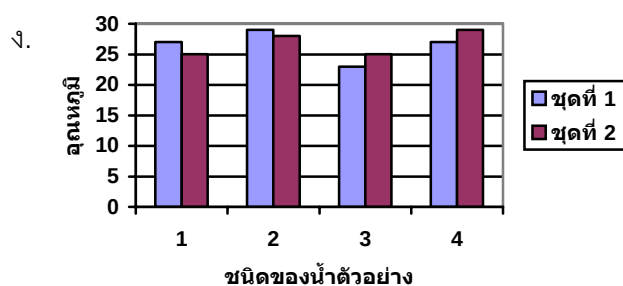
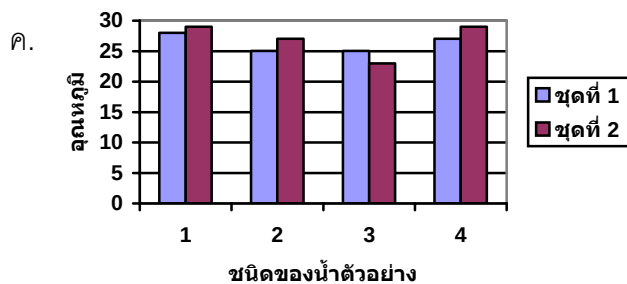
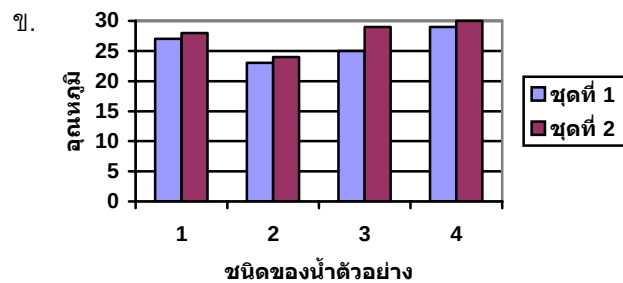
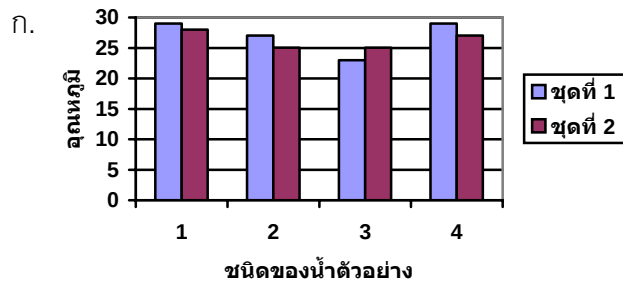
- ก. 1, 2, 3, 4, 5
- ข. 1, 3, 2, 5, 4
- ค. 2, 1, 3, 4, 5
- ง. 2, 1, 3, 5, 4

26. ถ้าต้องการดมกลืนน้ำส้มสายชูที่อยู่ในปีกเกอร์ควรปฏิบัติอย่างไร

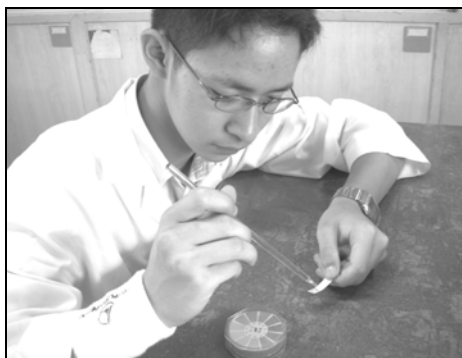
- ก. วางปีกเกอร์ไว้อยู่กับที่แล้วก้มลงไปดมกลืนของน้ำส้มสายชูโดยตรง
- ข. ยกปีกเกอร์ขึ้นให้อยู่ในระดับจมูก แล้วดมกลืนของน้ำส้มสายชูโดยตรง
- ค. ยกปีกเกอร์ขึ้นให้อยู่ในระดับจมูก ใช้มือพัดบริเวณเหนือปีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม
- ง. วางปีกเกอร์ไว้อยู่กับที่แล้ว ใช้กระดาษพัดบริเวณเหนือปีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม

27. การนำเสนอข้อมูลจากตาราง ข้อใดนำเสนอได้ถูกต้อง

ชนิดของน้ำตัวอย่าง	อุณหภูมิ	
	ชุด 1	ชุด 2
1	29	28
2	27	25
3	23	25
4	29	27



28. จากภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าอะไร



ก. วัดค่า pH

ข. วัดค่าคลอรีน

ค. วัดค่าอุณหภูมิ

ง. วัดค่าความเข้มข้นของสาร

29. การเติมออกซิเจนลงในน้ำเสียซึ่งบรรจุอยู่ในขวดชนิดใสควรปฏิบัติอย่างไร

ก. เติมออกซิเจนลงในน้ำเสียโดยใช้เครื่องปั๊มลม โดยเปิดฝาขวดตลอดเวลา

ข. เปิดฝาขวดตลอดเวลา ให้ออกซิเจนแพร่ลงในน้ำเสียตามธรรมชาติ

ค. เปิดฝาขวดตลอดเวลา โดยใช้อุปกรณ์พัดให้ออกซิเจนแพร่ลงไปใต้น้ำเสีย

ง. เติมออกซิเจนลงในน้ำเสียโดยใช้เครื่องปั๊มลม แล้วปิดฝาขวดให้สนิท

30. ในการวัดความสูงของระดับน้ำในแก้ว นักเรียนควรวางเครื่องมือวัดตามรูปใด

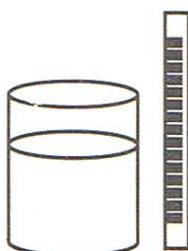
ก.



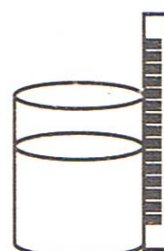
ข.



ค.



ง.



31. วิธีทำกรดเข้มข้นให้เจือจาง ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. เทกรดลงในน้ำอย่างรวดเร็ว แล้วใช้แท่งแก้วคน
- ข. เทกรดลงในน้ำอย่างช้าๆ แล้วคนด้วยแท่งแก้วอย่างรวดเร็ว
- ค. เทกรดลงในน้ำผ่านแท่งแก้วอย่างช้าๆ และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา
- ง. เทกรดลงในน้ำผ่านแท่งแก้วอย่างรวดเร็ว แล้วคนด้วยแท่งแก้วอย่างช้าๆ

32. การใช้เครื่องมือวัดหาสิ่งต่างๆ ควรทำอย่างไรจึงจะได้ค่าใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

- ก. วัดเพียงครั้งเดียว
- ข. วัดหลายๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย
- ค. วัดหลายๆ ครั้งแล้วเลือกค่าที่มากที่สุด
- ง. วัดหลายๆ ครั้งแล้วเลือกค่าที่น้อยที่สุด

33. นักเรียนต้องการให้น้ำมะขามเปียกให้มีสภาพเป็นกลางควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. เติมน้ำมะกรูด กับ น้ำมะนาว
- ข. เติมน้ำมะนาว กับ น้ำส้มสายชู
- ค. เติมน้ำปูนแดง กับ น้ำสบู่
- ง. เติมน้ำส้มสายชู กับ น้ำซี้เถ้า

34. ถ้าต้องการอ่านค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. อ่านค่าอุณหภูมิใต้ขีดที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่เหนือระดับเดียวกับของเหลวเล็กน้อย
- ข. อ่านค่าอุณหภูมิเหนือขีดที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว
- ค. อ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว
- ง. อ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ใต้ระดับของเหลวเล็กน้อย

35. น้ำผสมกับดินบดละเอียดจะใช้อุปกรณ์ข้อใดแยกของแข็งออกจากน้ำ

- ก. ผ้าขาวบาง
- ข. ตะแกรงละเอียด
- ค. ถังตกตะกอน และผ้าขาวบาง
- ง. ตะแกรงละเอียด และผ้าขาวบาง

36. การบอกค่า pH เป็นตัวเลขของสารละลายชนิดหนึ่ง ทักษะที่ใช้คือทักษะใด

- ก. ทักษะการวัด
- ข. ทักษะการสังเกต
- ค. ทักษะการทดลอง
- ง. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล

37. การใช้เทอร์โมมิเตอร์กับน้ำเสียจากชุมชน ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน เอียงก้านเทอร์โมมิเตอร์เล็กน้อยแล้วอ่านค่าอุณหภูมิ
- ข. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน เอียงก้านเทอร์โมมิเตอร์เล็กน้อยรอให้ของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ
- ค. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน ให้ก้านเทอร์โมมิเตอร์ตั้งตรงแล้วอ่านค่าอุณหภูมิตันที
- ง. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน ให้ก้านเทอร์โมมิเตอร์ตั้งตรง รอให้ของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ

38. ตะแกรงหยาบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำเสียชนิดใด

- ก. น้ำผสมกับข้าวสุก
- ข. น้ำที่มีสารแขวนลอย
- ค. น้ำผสมกับเศษกระดาษ
- ง. น้ำผสมกับดินบดละเอียด

39. น้ำเสียจากแหล่งใดควรได้รับการบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ก.



ข.



ค.



ง.



40. นายแดนวัดปริมาตรของน้ำเสียจากโรงเรียนโดยใช้กระบอกลง 4 ครั้ง ได้ผลดังตาราง

ครั้งที่	ปริมาตร (cm ³)
1	45.0
2	45.2
3	45.3
4	45.6

จากข้อมูลในตาราง เพราะเหตุใดนายแดนจึงวัดได้ค่าปริมาตรของน้ำแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

- ก. กระบอกลงมีขีดสเกลที่ไม่ได้มาตรฐาน
- ข. ใช้กระบอกลงขนาดเล็กกว่าปริมาตรน้ำเสียจึงต้องวัดหลายครั้ง
- ค. อ่านค่าปริมาตรโดยสายตาอยู่ในระดับเดียวกับส่วนโค้งต่ำสุดของน้ำเสีย
- ง. เทน้ำเสียลงในกระบอกลงแต่ละครั้งแรงเกินไป ทำให้น้ำเสียบางส่วนกระฉอกออกมา

ตาราง 17 แสดงแนวคำตอบแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ข้อที่	เฉลย
1	ค. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
2	ก. มีสมบัติเป็นกรด
3	ก. การกำจัดสารอินทรีย์
4	ข. ปริมาณก๊าซออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง
5	ง. จุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน
6	ง. ปริมาณสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ในปริมาณมาก
7	ง. นายแดงสังเกตสี และตะกอนของน้ำเมื่อผ่านคลองแสนแสบ
8	ง. ออกซิเจนไม่สามารถแพร่ลงในน้ำได้
9	ง. ประชากรส่วนใหญ่ขาดความรับผิดชอบ
10	ง. น้ำมันเคลือบเหงือกทำให้หายใจไม่สะดวก
11	ค. น้ำผสมดินบดละเอียด
12	ข. บริเวณชุมชนหนาแน่น
13	ค. การบำบัดทางชีวภาพ
14	ค. น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์
15	ข. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นเบส
16	ข. ลดอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ
17	ค. แจ้งเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในท้องถิ่นให้รับทราบ
18	ก. น้ำปูนใส
19	ข. ใช้ตะแกรงดักเศษอาหารและขยะ
20	ค. บอกไม่ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียก่อน
21	ข. ลดปริมาณก๊าซออกซิเจน
22	ง. การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ
23	ง. การแกว่งด้วยสารส้ม
24	ข. เป็นแผ่น
25	ก. น้ำล้างจานที่มีคราบไขมัน
26	ก. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ
27	ค. ขยะ และสิ่งปฏิกูลจากชุมชน

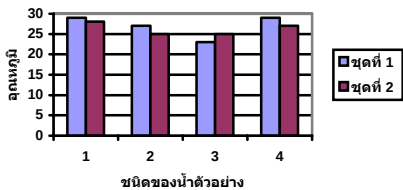
ตาราง 17 (ต่อ)

ข้อที่	เฉลย
28	ค. แบคทีเรีย
29	ค. น้ำมูลสัตว์ น้ำบาดาล
30	ค. ฟอสฟอรัส
31	ก. น้ำฝรั่ง
32	ข. ด้านเศรษฐกิจ
33	ง. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับอุณหภูมิ
34	ค. ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในน้ำเสีย
35	ค. ตะแกรงหยาบ
36	ก. ระบบบ่อผึ่ง
37	ง. ได้รับน้ำทิ้งจากสารประเภทผงซักฟอก
38	ก. แยกของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย
39	ก. ขนาดของสิ่งที่เจือปน
40	ง. น้ำทิ้งมีคราบน้ำมันขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนในน้ำ

ตาราง 18 แสดงแนวคำตอบแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ข้อที่	เฉลย										
1	ก. เพื่อให้เข้าใจตรงกัน										
2	ก. น้ำซักผ้า										
3	ค. กระบอกตวง										
4	ง. ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำจากตู้เลี้ยงปลาแล้วนำไปแตะกระดาษ ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก										
5	ข. 2, 3, 1, 4										
6	ข. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง										
7	ก. ปลายปิดทั้งสองข้าง										
8	ง. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์										
9	ข. กราฟ										
10	ค. สังเกตสี กลิ่น และตะกอน										
11	ค. สลัดเทอร์โมมิเตอร์ก่อนและหลังการใช้ทุกครั้ง										
12	ข. วัดค่าอุณหภูมิ										
13	ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ ปีบจุยกยงให้ของเหลวหยุดที่ละหยุดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้วสะอาดให้แห้ง										
14	ง. น้ำใส และมีตะกอนก้นถึง										
15	ง. ไม่บรรทัด										
16	ค. เติมน้ำมะกรูด										
17	ง. กรองด้วยตะแกรงหยาบ										
18	ข. ปีกเกอร์										
19	ก. <table><tr><th rowspan="2">น้ำตัวอย่าง</th><th colspan="2">จำนวนหยด</th><th rowspan="2">สภาพเป็นกลาง</th></tr><tr><th>กรด</th><th>เบส</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยด		สภาพเป็นกลาง	กรด	เบส				
น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยด		สภาพเป็นกลาง								
	กรด	เบส									
20	ค. การตวง										
21	ข. นำน้ำเสียใส่ขวดปิดจุกขวดตลอดการทดลอง										

ตาราง 18 (ต่อ)

ข้อที่	เฉลย
22	<p>ก.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 80px; margin-right: 10px; position: relative;"> <div 10px;"="" margin-left:="" style="position: absolute; top: 0; left: 0; width: 100%; height: 100%; background: linear-gradient(to bottom, transparent 49%, black 49% 51%, transparent 51% 53%, black 53% 55%, transparent 55% 57%, black 57% 59%, transparent 59% 61%, black 61% 63%, transparent 63% 65%, black 65% 67%, transparent 67% 69%, black 69% 71%, transparent 71% 73%, black 73% 75%, transparent 75% 77%, black 77% 79%, transparent 79% 81%, black 81% 83%, transparent 83% 85%, black 85% 87%, transparent 87% 89%, black 89% 91%, transparent 91% 93%, black 93% 95%, transparent 95% 97%, black 97% 99%, transparent 99% 100%);</div> <div style="> <p>→ น้ำมันพืช</p> <p>→ น้ำ</p> <p>→ ทราาย</p> </div> </div> </div>
23	ก. น้ำประปา กับ น้ำกลั่น
24	ค. C
25	ข. 1, 3, 2, 5, 4
26	ค. ยกปีกเกอร์ขึ้นให้อยู่ในระดับจุ่มก ใช้มือพัดบริเวณเหนือปีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูเข้าหาจุ่มกแล้วจึงสูดดม
27	ก.  ชนิดของน้ำตัวอย่าง
28	ก. วัดค่า pH
29	ก. เติมหอกซิเจนลงในน้ำเสียโดยใช้เครื่องปั๊มลม โดยเปิดฟาวด์ตลอดเวลา
30	ง. 
31	ค. เทกรดลงในน้ำผ่านแท่งแก้วอย่างช้าๆ และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา
32	ข. วัดหลายๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย
33	ค. เติมน้ำปูนแดง กับ น้ำสบู
34	ค. อ่านค่าอุณหภูมิ <u>ตรงขีด</u> ที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว
35	ค. ถังตกตะกอน และผ้าขาวบาง
36	ข. ทักะการสังเกต
37	ง. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน ให้ก้านเทอร์โมมิเตอร์ตั้งตรง รอให้ของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ

ตาราง 18 (ต่อ)

ข้อที่	เฉลย
38	ค. น้ำผสมกับเศษกระดาษ
39	ง. 
40	ข. ใช้กระบอกตวงขนาดเล็กกว่าปริมาณน้ำเสียจึงต้องวัดหลายครั้ง

ภาคผนวก ณ

ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ

- แบบประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับบทปฏิบัติการ

ตาราง 19 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4	4	3	4	4	19	3.80	0.44	ดี
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม	4	4	3	4	4	19	3.80	0.44	ดี
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
1.7 การใช้ภาษา									
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
1.7.2 ไม่วกวน	4	4	4	3	5	20	4.40	0.55	ดีมาก
1.7.3 ชวนอ่าน	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
2. บทปฏิบัติการ									
2.1 หลักการ									
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดี
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.2 จุดประสงค์									
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด	3	4	3	4	5	20	3.80	0.84	ดี
2.2.2 ประเมินผลได้	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดี

ตาราง 19 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
2.3 วิธีการทดลอง									
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	5	5	4	4	4	22	4.40	0.55	ดีมาก
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ	5	5	4	4	5	23	4.80	0.45	ดีมาก
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วม ในกิจกรรม	4	4	3	4	5	20	4.40	0.71	ดีมาก
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน	3	4	4	4	5	20	4.00	0.71	ดี
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และ คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลอง เหมาะสม	5	4	3	4	4	20	4.00	0.71	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการ ทดลอง	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับ จุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
3.2.3 จำนวนข้อในคำถาม เหมาะสม	5	5	4	5	5	24	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ	2	4	3	5	4	18	3.60	1.14	ดี
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี

ตาราง 19 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	4	5	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	5	5	4	5	5	24	4.60	0.55	ดีมาก
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
4.8 การใช้ภาษา									
4.8.1 มีความง่ายพอเหมาะ	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
4.8.2 ไม่วกวน	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
4.8.3 ชวนอ่าน	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	5	5	4	4	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 20 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	4	5	4	2	5	20	4.00	1.22	ดี
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	3	3	3	5	5	19	3.80	1.10	ดี
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4	5	4	4	4	21	4.20	0.45	ดี
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม	5	5	4	5	4	23	4.60	0.55	ดีมาก
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน	3	4	3	5	5	20	4.00	1.00	ดี
1.7 การใช้ภาษา									
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	4	5	4	3	5	21	4.20	0.84	ดี
1.7.2 ไม่วกวน	3	5	4	4	5	21	4.20	0.84	ดี
1.7.3 ชวนอ่าน	3	4	3	5	5	20	4.00	1.00	ดี
2. บทปฏิบัติการ									
2.1 หลักการ									
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	3	4	3	5	4	19	3.80	0.84	ดี
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน	4	5	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.2 จุดประสงค์									
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
2.2.2 ประเมินผลได้	4	4	4	4	4	20	4.00	1.00	ดี

ตาราง 22 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
2.3 วิธีการทดลอง									
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	4	5	4	3	5	23	4.20	0.84	ดี
2.3.3 มีความง่ายพอเหมาะ	4	4	4	3	5	20	4.00	0.71	ดี
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น	3	3	3	3	5	17	3.40	0.89	ปานกลาง
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วม ในกิจกรรม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน	3	3	4	4	5	19	3.80	0.84	ดี
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และ คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลอง เหมาะสม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการ ทดลอง	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับ จุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
3.2.3 จำนวนข้อในคำถาม เหมาะสม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
3.2.4 มีความง่ายพอเหมาะ	4	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด	3	3	3	4	5	17	3.60	0.89	ดี

ตาราง 22 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	3	4	3	3	5	18	3.60	0.89	ดี
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม	2	4	3	4	5	18	3.60	1.14	ดี
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	3	4	3	4	4	18	3.60	0.55	ดี
4.8 การใช้ภาษา									
4.8.1 มีความง่ายพอเหมาะ	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.8.2 ไม่วกวน	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.8.3 ชวนอ่าน	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	4	5	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์	3	4	3	5	5	20	4.00	1.00	ดี

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 21 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	5	4	4	5	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4	4	3	5	4	20	4.00	0.71	ดี
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม	4	4	3	4	4	19	3.80	0.45	ดี
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน	4	3	3	5	5	20	4.00	1.00	ดี
1.7 การใช้ภาษา									
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
1.7.2 ไม่วกวน	5	4	4	5	5	23	4.40	0.55	ดีมาก
1.7.3 ชวนอ่าน	5	3	3	5	5	21	4.20	1.09	ดี
2. บทปฏิบัติการ									
2.1 หลักการ									
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน	5	5	4	5	4	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.2 จุดประสงค์									
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
2.2.2 ประเมินผลได้	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก

ตาราง 21 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
2.3 วิธีการทดลอง									
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	4	5	4	5	5	23	4.40	0.55	ดีมาก
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	4	4	4	5	4	21	4.20	0.45	ดี
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ	5	4	4	5	4	22	4.40	5.55	ดีมาก
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	5	3	4	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น	5	3	3	4	5	20	4.00	1.00	ดี
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วม ในกิจกรรม	5	5	4	5	5	24	4.60	0.55	ดีมาก
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน	4	4	4	4	4	20	4.00	1.00	ดี
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และ คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลอง เหมาะสม	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการ ทดลอง	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับ จุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถาม เหมาะสม	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ	5	5	4	5	4	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก

ตาราง 21 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	5	4	3	5	4	21	4.20	0.84	ดี
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	5	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.8 การใช้ภาษา									ดีมาก
4.8.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ	5	4	4	4	5	22	4.40	0.55	
4.8.2 ไม่วกวน	5	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.8.3 ชวนอ่าน	5	3	3	4	4	19	3.80	0.84	ดี
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 22 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	5	4	3	4	4	20	4.00	0.71	ดี
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4	4	3	4	4	19	3.80	0.45	ดี
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม	4	4	3	4	4	19	3.80	0.45	ดี
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
1.7 การใช้ภาษา									
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	5	5	4	5	4	23	4.60	0.55	ดีมาก
1.7.2 ไม่วกวน	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
1.7.3 ชวนอ่าน	4	4	3	5	4	21	4.00	0.71	ดี
2. บทปฏิบัติการ									
2.1 หลักการ									
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดีมาก
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน	5	4	3	4	4	20	4.00	0.71	ดี
2.2 จุดประสงค์									
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.2.2 ประเมินผลได้	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก

ตาราง 22 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
2.3 วิธีการทดลอง									
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	5	4	3	5	4	21	4.20	0.84	ดี
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ	3	4	3	4	4	18	3.60	0.55	ดี
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วม ในกิจกรรม	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน	4	5	4	4	5	23	4.40	0.55	ดีมาก
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และ คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลอง เหมาะสม	5	4	3	5	5	21	4.40	0.89	ดีมาก
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการ ทดลอง	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับ จุดประสงค์การเรียนรู้	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถาม เหมาะสม	5	5	4	5	5	24	4.80	0.89	ดีมาก
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ	5	5	4	5	4	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก

ตาราง 22 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	3	5	4	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	3	5	4	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	5	4	4	5	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม	2	2	3	5	5	17	3.40	1.52	ปานกลาง
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	5	3	3	4	4	22	3.80	0.84	ดี
4.8 การใช้ภาษา									
4.8.1 มีความง่ายพอเหมาะ	5	4	4	3	5	21	4.20	0.84	ดี
4.8.2 ไม่วกวน	5	4	4	3	5	21	4.20	0.84	ดี
4.8.3 ชวนอ่าน	5	3	3	4	4	22	3.80	0.84	ดีมาก
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์	3	4	3	5	5	22	4.00	1.00	ดี

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 23 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 5 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	3	4	4	4	5	20	4.00	0.75	ดี
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	5	5	4	3	5	22	4.40	0.49	ดีมาก
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน	3	4	3	5	5	22	4.00	1.00	ดี
1.7 การใช้ภาษา									
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	5	5	4	4	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
1.7.2 ไม่วกวน	5	5	4	4	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
1.7.3 ชวนอ่าน	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
2. บทปฏิบัติการ									
2.1 หลักการ									
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
2.2 จุดประสงค์									
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
2.2.2 ประเมินผลได้	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก

ตาราง 23 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
2.3 วิธีการทดลอง									
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	4	4	3	3	5	19	3.80	0.84	ดี
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วม ในกิจกรรม	5	5	4	4	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
2.3.7 การใช้ภาษาชัดเจน	3	5	3	3	5	19	3.80	1.09	ดี
3. เอกสารรายงานผลการทดลอง และ คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลอง เหมาะสม	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการ ทดลอง	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับ จุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถาม เหมาะสม	5	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้เพียงใด	4	5	3	3	5	20	4.00	1.00	ดี

ตาราง 23 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	5	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
4.3 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
4.4 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	5	5	3	3	5	21	4.20	1.09	ดี
4.5 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	4	5	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
4.6 รูปภาพประกอบการทดลองเหมาะสม	5	3	3	4	5	20	4.00	1.00	ดี
4.7 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	4	4	3	3	5	19	3.80	0.84	ดี
4.8 การใช้ภาษา									
4.8.1 มีความง่ายพอเหมาะ	3	4	4	4	5	20	4.00	0.71	ดี
4.8.2 ไม่วกวน	5	5	4	4	5	23	4.40	0.55	ดีมาก
4.8.3 ชวนอ่าน	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.9 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	5	5	4	3	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
4.10 คู่มือประกอบการสอนมีประโยชน์	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 24 แสดงการประเมินความสอดคล้อง (IOC) จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับความ
สอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับกิจกรรมของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

บทปฏิบัติการ	จุดประสงค์การเรียนรู้	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
		1	2	3	4	5			
กิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบ คุณภาพน้ำ เบื้องต้น	1. นักเรียนสามารถใช้วิธีการทาง วิทยาศาสตร์ตรวจสอบ คุณภาพน้ำเบื้องต้นได้								
	2. นักเรียนสามารถบอกคุณภาพ ของน้ำเบื้องต้นโดยการ ตรวจสอบลักษณะทาง กายภาพและลักษณะทางเคมี ได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบ น้ำคุณสมบัติของสะอาดกับ น้ำเสียได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
กิจกรรมที่ 2 การบำบัด น้ำเสียด้วย วิธีการทาง กายภาพ	1. นักเรียนสามารถอธิบาย หลักการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางกายภาพได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธี และอุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีทางกายภาพได้อย่าง เหมาะสมกับประเภทของ น้ำเสีย	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีทางกายภาพ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 24 (ต่อ)

บทปฏิบัติการ	จุดประสงค์การเรียนรู้	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5			
กิจกรรมที่ 3 การบำบัด น้ำเสียด้วย วิธีการทางเคมี	1. นักเรียนสามารถอธิบาย หลักการของการบำบัดน้ำ เสียด้วยวิธีการทางเคมีได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	2. นักเรียนสามารถเลือกใช้ วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางเคมีได้อย่าง เหมาะสมกับประเภทของ น้ำเสียได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำ เสียด้วยวิธีการทางเคมีได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
กิจกรรมที่ 4 การบำบัด น้ำเสียด้วย วิธีการทาง ชีวภาพ	1. นักเรียนสามารถอธิบาย หลักการ และวิธีการบำบัด น้ำเสียด้วยวิธีการทาง ชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	2. นักเรียนสามารถบำบัดน้ำ เสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ แบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ ออกซิเจน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	4. นักเรียนสามารถสรุปข้อดี ข้อเสียของการบำบัดน้ำ เสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ แบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ ออกซิเจนได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 24 (ต่อ)

บทปฏิบัติการ	จุดประสงค์การเรียนรู้	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5			
กิจกรรมที่ 5 การปรับปรุง คุณภาพน้ำ	1. นักเรียนสามารถนำ หลักการตรวจสอบคุณภาพ น้ำเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ ในการเลือกวิธีปรับปรุง คุณภาพน้ำได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
	2. นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ หลักการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการต่างๆ ได้	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 25 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	0	0	3	0.60	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
22	+1	0	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
23	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 25 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
27	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
28	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
35	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
41	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
46	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 25 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
53	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
54	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
57	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 26 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	0	+1	+1	0	0	2	0.40*	ปรับปรุง
8	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
12	+1	0	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
22	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
23	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 26 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
26	+1	+1	0	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
27	+1	+1	0	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
28	+1	0	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
35	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
38	+1	0	0	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
41	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
46	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 26 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
53	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
54	+1	+1	0	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
57	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 27 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	0	0	3	0.60	ใช้ได้
8	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
10	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
11	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
12	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
14	0	0	+1	0	+1	2	0.40*	ปรับปรุง
15	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
22	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
23	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
24	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้

ตาราง 27 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
26	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
27	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
28	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
35	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
36	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
37	0	+1	+1	+1	0	3	0.60	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
41	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
46	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 27 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
53	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
54	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
57	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 28 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	0	0	0	2	0.40*	ปรับปรุง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	5	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
11	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
12	0	0	+1	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
22	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
23	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 28 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	+1	+1	0	+1	5	1.00	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
27	0	+1	0	0	+1	2	0.40*	ปรับปรุง
28	+1	0	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
35	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
41	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
46	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 28 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
53	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
54	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
57	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 29 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	0	0	0	2	0.40*	ปรับปรุง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
22	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
23	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 29 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
27	+1	+1	0	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
28	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
35	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
41	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
46	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้

ตาราง 29 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
53	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
54	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
57	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	0	+1	0	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 30 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	0	0	0	2	0.40*	ปรับปรุง
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
11	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
13	+1	0	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
22	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
23	0	0	+1	+1	+1	3	0.60	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 30 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
25	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
27	0	+1	0	0	+1	2	0.40*	ปรับปรุง
28	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
30	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
34	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
35	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
41	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
42	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
43	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
44	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
45	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
46	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
47	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
48	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
49	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 30 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
50	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช้ได้
51	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
52	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
53	+1	+1	+1	+1	0	4	0.80	ใช้ได้
54	+1	+1	+1	0	+1	4	0.80	ใช้ได้
55	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
56	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
57	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
58	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
59	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
60	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

* หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญรายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ภาคผนวก ญ

ผลการพัฒนาและการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

- คะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการในบทปฏิบัติการที่ 1-5
- ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนเรียน และหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ
- คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

ตาราง 31 แสดงคะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการที่ 1-5 ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการ						คะแนนแบบทดสอบ หลังเรียน E2 (60)
	บท 1	บท 2	บท 3	บท 4	บท 5	E1 (50)	
1	4	6	5	5	7	27	35
2	6	5	6	5	7	29	37
3	5	6	5	6	7	29	37
4	5	6	6	5	8	30	39
5	5	8	7	6	7	33	39
6	7	6	6	7	7	33	44
7	7	7	6	7	8	35	45
8	8	7	7	8	8	38	46
9	9	7	8	7	7	38	47
10	8	7	8	8	8	39	47
11	8	7	7	9	8	39	47
12	8	7	8	8	9	40	49
13	8	7	8	8	9	40	50
14	8	7	9	8	9	41	50
15	8	7	8	9	9	41	50
16	9	9	8	8	7	41	51
17	8	9	9	8	8	42	51
18	7	8	9	9	9	42	51
19	8	8	10	7	9	42	51
20	9	8	9	7	10	43	52
21	9	10	8	8	8	43	52
22	7	8	9	10	10	44	52
23	7	10	10	9	9	45	52
24	8	9	10	9	9	45	53

ตาราง 32 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือก
1*	23	14	.70	.38	/
2	27	14	.82	.71	-
3*	25	14	.75	.52	/
4*	23	9	.60	.53	/
5*	27	10	.75	.78	/
6*	27	12	.78	.75	/
7*	19	7	.48	.44	/
8*	24	4	.53	.72	/
9	27	16	.84	.68	-
10*	24	14	.72	.44	/
11	21	21	.78	-	-
12*	20	9	.54	.41	/
13*	22	7	.54	.55	/
14*	9	3	.21	.31	/
15*	22	13	.65	.36	/
16*	19	6	.46	.48	/
17	27	13	.80	.73	-
18*	22	13	.65	.36	/
19*	26	7	.66	.74	/
20	23	22	.83	.06	-
21*	16	8	.44	.30	/
22*	23	7	.57	.59	/
23*	14	6	.36	.32	/
24*	23	6	.54	.62	/
25*	25	9	.66	.65	/

ตาราง 32 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือก
26*	18	10	.56	.30	/
27*	23	19	.78	.21	/
28*	18	13	.58	.20	/
29*	25	14	.75	.52	/
30	23	21	.82	.11	-
31*	24	8	.62	.61	/
32*	24	7	.59	.64	/
33*	17	11	.52	.22	/
34*	19	7	.48	.44	/
35*	19	4	.41	.56	/
36*	20	0	.30	.82	/
37	0	4	.06	-.47	-
38*	25	16	.78	.47	/
39*	17	10	.50	.26	/
40*	26	13	.76	.62	/
41	19	16	.65	.12	-
42*	26	15	.79	.57	/
43	16	12	.52	.15	-
44*	13	7	.37	.24	/
45*	24	9	.63	.59	/
46*	23	14	.70	.38	/
47*	17	8	.46	.34	/
48	7	9	.29	-.08	-
49*	24	18	.79	.31	/
50	22	21	.80	.04	-
51*	24	16	.75	.38	/

ตาราง 32 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	R	ข้อที่เลือก
52	22	19	.76	.14	-
53	14	15	.54	-.04	-
54	18	14	.60	.16	-
55*	18	10	.52	.30	/
56*	21	12	.62	.36	/
57*	14	6	.36	.32	/
58	21	17	.71	.18	-
59	17	14	.58	.11	-
60*	13	7	.37	.24	/

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัด
น้ำเสีย ที่ผ่านการคัดเลือก ($p = 0.2-0.8$, $r = 0.2$ ขึ้นไป) จำนวน 44 ข้อ จากจำนวน 60 ข้อ มาหาค่าความ
เชื่อมั่นเท่ากับ 0.98

ตาราง 33 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดทักษะ
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือก
1*	27	6	.68	.83	/
2*	26	6	.64	.76	/
3*	21	3	.43	.67	/
4*	27	27	.53	.89	/
5*	23	6	.54	.62	/
6	27	15	.83	.69	-
7*	22	1	.38	.78	/
8*	22	14	.67	.32	/
9*	26	11	.73	.66	/
10*	23	5	.53	.65	/
11	26	20	.87	.42	-
12*	25	13	.73	.55	/
13*	20	13	.61	.28	/
14*	26	13	.76	.62	/
15*	24	15	.74	.41	/
16*	25	5	.59	.73	/
17*	17	7	.44	.38	/
18	26	17	.82	.52	-
19	24	21	.84	.18	-
20*	19	2	.35	.66	/
21*	20	11	.58	.34	/
22	26	19	.85	.46	-
23*	19	3	.38	.61	/
24	17	15	.60	.07	-
25	25	20	.84	.32	-

ตาราง 33 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือก
26*	25	15	.77	.49	/
27	27	22	.92	.52	-
28*	27	5	.67	.84	/
29*	26	15	.79	.57	/
30*	26	9	.69	.70	/
31*	26	10	.71	.68	/
32*	26	2	.53	.85	/
33*	26	14	.78	.59	/
34	27	14	.82	.71	-
35*	13	1	.22	.59	/
36	13	19	.59	-.23	-
37	3	3	.11	-	-
38*	14	8	.41	.23	/
39*	19	12	.57	.27	/
40*	25	16	.78	.47	/
41*	19	9	.52	.37	/
42	23	21	.82	.11	-
43	4	6	.18	-.11	-
44*	14	3	.30	.48	/
45*	21	13	.64	.32	/
46*	23	11	.64	.47	/
47	9	7	.29	.08	-
48*	10	4	.25	.28	/
49	0	1	.05	.39	-
50*	19	9	.52	.37	/
51*	23	16	.73	.32	/

ตาราง 33 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกใน กลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือก
52	13	11	.44	.07	-
53	11	14	.46	-.11	-
54	3	2	.09	.10	-
55*	19	10	.54	.34	/
56*	14	8	.41	.23	/
57	17	17	.63	-	-
58*	14	8	.41	.23	/
59*	22	16	.71	.26	/
60	19	16	.65	.12	-

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัด
น้ำเสีย ที่ผ่านการคัดเลือก ($p = 0.2-0.8$, $r = 0.2$ ขึ้นไป) จำนวน 40 ข้อ จากจำนวน 60 ข้อ มาหาค่าความ
เชื่อมั่นเท่ากับ 0.98

ตาราง 34 แสดงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนของ
นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	16	22	21	27	36
2	18	24	22	27	36
3	19	25	23	27	36
4	20	25	24	28	25
5	21	25	25	28	16
6	22	27	26	28	25
7	22	28	27	29	25
8	22	29	28	29	35
9	22	29	29	30	35
10	23	29	30	30	35
11	23	29	31	30	36
12	23	30	32	31	36
13	23	30	33	31	36
14	23	30	34	31	37
15	23	31	35	32	39
16	23	32	36	32	39
17	25	32	37	33	40
18	26	32	38	33	40
19	26	32	39	34	40
20	27	33	40	34	40

ตาราง 35 แสดงคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังเรียนของ
นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนหลังเรียน	คนที่	คะแนนหลังเรียน
1	24	21	34
2	26	22	34
3	26	23	34
4	27	24	35
5	27	25	35
6	28	26	35
7	29	27	36
8	29	28	37
9	29	29	37
10	29	30	38
11	31	31	38
12	31	32	38
13	31	33	38
14	32	34	39
15	32	35	39
16	33	36	39
17	33	37	39
18	33	38	40
19	33	39	40
20	34	40	40

ภาคผนวก ก

ประมวลภาพการเก็บข้อมูลการวิจัย



ภาพประกอบ 30 แสดงตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน



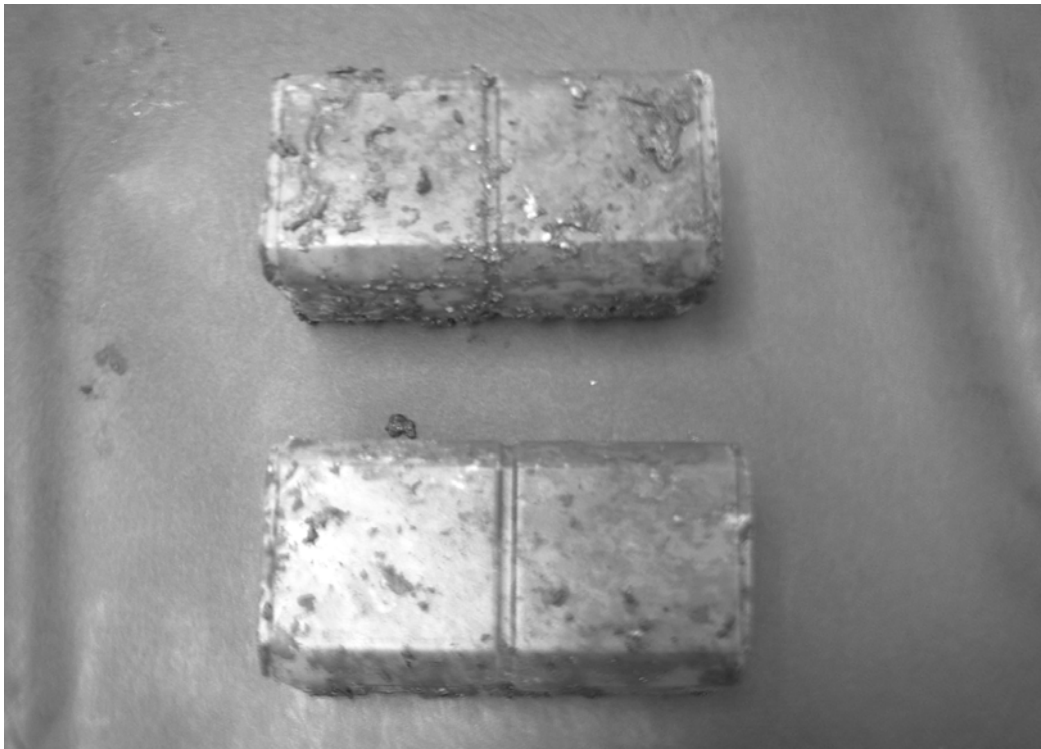
ภาพประกอบ 31 แสดงการบรรจุตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ลงในตาข่ายไนลอน



ภาพประกอบ 32 แสดงการนำตัวกลางออกจากถังหมักแบบไร้ออกซิเจน



ภาพประกอบ 33 แสดงตัวกลางจากขวดพลาสติกเหลือใช้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ภาพประกอบ 34 แสดงการกัดกร่อนของจุลินทรีย์บริเวณพื้นที่ผิวของตัวกลาง



ภาพประกอบ 35 แสดงตะกอนภายในระบบบำบัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพประกอบ 36 แสดงการสาธิตวิธีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง



ภาพประกอบ 37 แสดงวิธีการวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างโดยนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง



ภาพประกอบ 38 แสดงวิธีการดมกลืนตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์



ภาพประกอบ 39 แสดงวิธีการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระชอน



ภาพประกอบ 40 แสดงวิธีการกรองน้ำตัวอย่างด้วยผ้าขาวบาง



ภาพประกอบ 41 แสดงการนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียนของนักเรียนตัวแทนกลุ่ม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวรวัฒน์ ทิพจ้อย
วันเดือนปีเกิด	5 พฤษภาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1761 ที.พี. แมนชั่น ถนนพระราม 9 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครูปฏิบัติการสอน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	1526 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ แขวงมักกะสัน เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10310
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนคุรุประชาสรรค์
พ.ศ. 2548	ปริญญาการศึกษาบัณฑิต (กศ.บ.) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2551	ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ