การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สกล ขุขันธิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

พฤษภาคม 2553

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สกล ขุขันธิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

บทคัดย่อ

ของ

สกล ขุขันธิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา
พฤษภาคม 2553

สกล ขุขันธิน. (2553). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร. สนอง ทองปาน, รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมาย 3 ประการ คือ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ในรูปของการลดปริมาณสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยในน้ำเสีย 2) เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพในระดับดี และมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 3) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อทรัพยากรน้ำของนักเรียนหลังการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

แหล่งข้อมูลในการวิจัยมีดังนี้ 1) แหล่งน้ำที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้น้ำทิ้งรวมจากอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ 2) การศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการและการศึกษาผลการเรียนรู้ ใช้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก เป็นแหล่งข้อมูล

การศึกษาคุณภาพน้ำกระทำโดย วัดค่าคุณภาพน้ำตามค่าพารามิเตอร์ 6 ตัว ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการกระทำโดยการเทียบค่าสัดส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละของคะแนนจากบทปฏิบัติการ 5 บท (E1) กับค่าร้อยละของคะแนนการสอบภาพรวม (E2) สำหรับการศึกษาผลการเรียนรู้ทั้ง 3 ด้าน กระทำโดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างคะแนนก่อนเรียนกับคะแนนหลังเรียนของผลการเรียนรู้แต่ละด้าน โดยการทดสอบค่า t-test กรณีข้อมูลคู่ขนาน (dependent data) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) ค่าคุณภาพน้ำ ปรากฏว่า ค่าคุณภาพน้ำ 5 ค่า คือ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าซีโอดี มีค่าเกินกว่ามาตรฐาน (ซึ่งบ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำยังไม่ดีพอ) เล็กน้อย

2) บทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ (E1/E2) มีค่า 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80

3) ผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และด้านเจตคติต่อทรัพยากรน้ำของนักเรียนภายหลังการเรียนสูงกว่าก่อนการเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

A STUDY ON EFFICIENCY OF AN AEROBIC TREATMENT SYSTEM FOR THE DEVELOPING OF LABORATORY DIRECTIONS "WASTEWATER TREATMENT" FOR MATHAYOMSUKSA IV STUDENTS PATARAPITAYAGAN SCHOOL

AN ABSTRACT

BY

SAKOL KHUKHANTIN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Master of Education degree in Secondary Education

at Srinakharinwirot University

May 2010

Sakol Khukhantin. (2010). *A Study on Efficiency of Aerobic Treatment System for Developing of Laboratory Directions "Wastewater Treatment" for Mathayomsuksa IV Students Patarapittayagan School*. Master thesis, M.Ed. (Secondary Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Sanong Thongpan, Assoc. Prof. Dr. Natthapong Charoenpit

The purposes of this research were: 1) to study the efficiency of anaerobic "Wastewater Treatment" system to reduce the organic substances from the solution and suspension. 2) to develop laboratory direction on "Wastewater Treatment" to obeain high quality and the efficiency index of 80/80. 3) to investigate the students' achievement on science process skills and attitude towards water resource after learning through the laboratory direction on "Wastewater Treatment"

The data were collected from: 1) analyzed waste water from the buildings in Srinakharinwirot University, Ongkarak 2) investigated the efficiency of laboratory directions and the Mathayomsuksa IV students' achievement at Patarapittayagan school.

The sample were 40 mattayomsuksa IV students, in the first semester of 2009 academic year at Patarapittayagan school.

The efficiency of "Wastewater Treatment" system was done by analysis temperature, pH, DO, BOD, COD, Oil and Grease, Suspended Solids from wastewater and compared to the standardization of water quality. The efficiency of laboratory directions "Wastewater Treatment" was conducted by comparing to the summation of mean score percentage from 5 chapters (E1) with the summation of examination scores percentage (E2). The study of learning out come were statistically analyzed by computation from mean score before and after learning through laboratory directions "Wastewater Treatment" by using t-test for significant difference of means at the .05 level.

The result of this study indicated that;

1) The value of wastewater quality based on temperature, pH, OD, BOD, Oil and Grease, and suspended solid were acceptable according to the standard value, but COD was higher.

2) The laboratory direction on “Wastewater Treatment” attained the efficiency index at 80.26/80.70

3) The students’ achievement, science process skills and attitude toward water resource was significantly increased after the experiment.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

ของ
สกล ขุขันธิน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. สนอง ทองปาน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. วิชาญ เลิศลพ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สนอง ทองปาน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บังอร พานทอง)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร. สนอง ทองปาน ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง และคอยให้ความห่วงใย ให้กำลังใจตลอดมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วิชาญ เลิศลพ และรองศาสตราจารย์ ดร. บังอร พานทอง คณะกรรมการแต่งตั้งเพิ่มเติมในการสอบปากเปล่า ที่อุทิศเวลาอันมีค่ากรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้ปริญญานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กัมปนาท บริบูรณ์ อาจารย์บุญรอด ชาติยานนท์ อาจารย์เอกราช ดีนาง อาจารย์ศศิพงษ์ ศรีสวัสดิ์ และอาจารย์วรวัฒน์ ทิพจ้อย ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจและแก้ไขเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถานศึกษา อาจารย์สุภาณี ช่วยประคอง และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมการเรียนการสอนในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่น้อง และเพื่อนวิชาเอกการมัธยมศึกษา กลุ่มการสอนสิ่งแวดล้อมตลอดจนกัลยาณมิตรทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ ครอบครัวขุขันธิน ผู้มีพระคุณสูงสุดในชีวิตและคอยสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณทุกท่านที่คอยให้กำลังใจตลอดมา คุณค่าอันเกิดจากประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ด้วยความเคารพรักอย่างยิ่ง

สกล ขุขันธิน

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
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ	15
	กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน	15
	กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน	18
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน	21
	ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์	21
	ปัจจัยที่ใช้ควบคุมระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	22
	ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน	23
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ	24
	ระบบบ่อเติมอากาศ	24
	ระบบถังเติมอากาศ	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

2 (ต่อ)

การจัดรูปแบบถังเติมอากาศ 26
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ 28
เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ 28
ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ 28
วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ 28
ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ 29
ประเภทของตัวอย่างน้ำ 30
ช่วงระยะเวลาระหว่างการเก็บวิเคราะห์ 30
วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษา 31
ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ 31
การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ 32
การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ 33
วิธีส่งตัวอย่างน้ำ 33
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ตรวจวัด 34
อุณหภูมิ 34
ความเป็นกรด-ด่าง 34
ดีโอ 35
บีโอดี 35
ซีโอดี 36
น้ำมันและไขมัน 36
ของแข็งแขวนลอย 37
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน 37
สาระสำคัญของหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 37
การจัดการเรียนรู้สาระสิ่งแวดล้อม 38
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ 39
ความหมายและหลักการของบทปฏิบัติการ 41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

2 (ต่อ)

จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 40
รูปแบบการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 41
ความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 42
ประโยชน์ของการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 43
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 44
ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 44
แนวทางในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 44
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 45
ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 46
ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 46
แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 47
การสร้างแบบทดสอบเลือกตอบ 48
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 48
ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 48
ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 49
การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 52
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเจตคติ 53
ความหมายของเจตคติ 53
วิธีส่งเสริมให้เกิดเจตคติ 54
ประโยชน์ของเจตคติ 55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน 55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ 56
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน 58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 **วิธีดำเนินการวิจัย**	60
ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน	60
รูปแบบการวิจัย	61
สถานที่ทำการวิจัย	61
ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	61
ตัวอย่างน้ำและการเก็บตัวอย่าง	61
ตัวแปรที่ศึกษา	62
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	62
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	63
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	64
การวิเคราะห์ข้อมูล	65
ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย	66
ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน	67
กำหนดประชากร	67
เลือกกลุ่มตัวอย่าง	67
การสร้างเครื่องมือวัดผล	69
กำหนดแบบแผนการทดลอง	72
การดำเนินการทดลอง	73
การวิเคราะห์ข้อมูล	73
4 **ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	74
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	74
การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย	90
การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน	93

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	96
ความมุ่งหมายของการวิจัย	96
สมมติฐานของการวิจัย	96
วิธีดำเนินการวิจัย	97
การวิเคราะห์ข้อมูล	98
สรุปผลการวิจัย	99
อภิปรายผล	102
ข้อเสนอแนะ	113
ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย	113
ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน	114
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก	126
ภาคผนวก ก	127
ภาคผนวก ข	131
ภาคผนวก ค	135
ภาคผนวก ง	155
ภาคผนวก จ	160
ภาคผนวก ฉ	181
ภาคผนวก ช	208
ภาคผนวก ซ	235
ภาคผนวก ฌ	240
ประวัติย่อผู้วิจัย	245

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์	65
2	แสดงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ	66
3	แสดงแบบแผนการทดลองจำแนกตามตัวแปรตาม	72
4	แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	75
5	แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	77
6	แสดงค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	79
7	แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	81
8	แสดงค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	83
9	แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	85
10	แสดงค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ	87
11	แสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศโดยภาพรวม	89
12	แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน	90
13	แสดงค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากคำถามท้ายบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียและร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ จำนวน 30 คน	92

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

14 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ 93

15 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ 94

16 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ก่อนและหลังเรียน ด้วยบทปฏิบัติการ 94

17 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ 128

18 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม 161

19 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์ 164

20 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก 167

21 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความชัดเจนของคำถาม 170

22 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์ 173

23 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความเหมาะสมของตัวเลือก 176

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
24	แสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ	179
25	แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ	209
26	แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 2 ความสำคัญของน้ำ	212
27	แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 3 สาเหตุของน้ำเสีย	215
28	แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 4 การการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	218
29	แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 5 การอนุรักษ์น้ำ	221
30	แสดงคะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการที่ 1-5 ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง	224
31	แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย	226
32	แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย	229
33	แสดงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง	232
34	แสดงคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง	233
35	แสดงคะแนนเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง	235

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย 8

2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) 76

3 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 78

4 แสดงค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529 80

5 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 82

6 แสดงค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 84

7 แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 86

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

8 แสดงของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 88

9 แสดงอุปกรณ์ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน 241

10 แสดงการตรวจเช็คระบบบำบัดก่อนทำการศึกษาประสิทธิภาพ 241

11 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ 242

12 แสดงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 242

13 แสดงสีของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี 243

14 แสดงการทำการทดลองเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง 243

15 แสดงการชมวิดีทัศน์เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย ของนักเรียนตัวแทนกลุ่มตัวอย่าง 244

16 แสดงการทำแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง 244

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

โลกเป็นดาวเคราะห์ที่มีสภาวะแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยส่วนที่เป็นพื้นน้ำมีอยู่ประมาณ 3 ส่วน (75%) และเป็นพื้นดินมีอยู่ประมาณ 1 ส่วน (25%) น้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์ที่อาศัยบนโลก โดยเฉพาะมนุษย์ซึ่งใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค การประมง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และการพักผ่อนหย่อนใจ ในอดีตแหล่งน้ำไม่เน่าเสียหรือเกิดภาวะมลพิษเพราะธรรมชาติสามารถปรับความสมดุล และฟื้นฟูตัวเองได้ ทำให้เกิดการหมุนเวียน แม้จะมีการปนเปื้อนจากสารหรือมลสารแต่ก็มีปริมาณไม่มากนักจึงสามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม แต่เมื่อมีการเจริญเติบโตของสังคมจนเกิดชุมชนมีการพัฒนาในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และพานิชยกรรม ทำให้ธรรมชาติไม่สามารถฟื้นฟูตัวเองได้ทัน ปัญหาน้ำเสียในแหล่งน้ำจึงเกิดขึ้นจนทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและการใช้ประโยชน์จาก แหล่งน้ำ (อโนทัย อุเทนสุต. 2538: 5) รวมทั้งสุขภาพอนามัย และคุณค่าชีวิตของประชาชนโดยรวมตลอดจนการพัฒนาประเทศชาติ

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

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเป็นการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของแอโรบิคเฮเทอโรโทรฟิก แบคทีเรีย (Aerobicheterotrophic bacteria) (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549: 257) สำหรับปริมาณออกซิเจนในระบบบำบัดจะได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ

เครื่องเติมอากาศทำหน้าที่เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียให้มีเพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้การกำจัดสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ใช้เวลาในการบำบัดน้อย และรวดเร็วกว่าการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น (กองจัดการคุณภาพน้ำ ควบคุมมลพิษ. 2545: 26-27) สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และ

สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น น้ำจึงเป็นทรัพยากรที่ทุกคนต้องร่วมกันอนุรักษ์ให้อยู่ในสภาพดีทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ และการพัฒนาประเทศ (วินัย วีระวัฒนานนท์. 2546: 10) สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (2544-2549: 9) กล่าวว่า มนุษย์เป็นศูนย์กลางของการพัฒนาซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสำเร็จและการเปลี่ยนแปลงในด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และสิ่งแวดล้อม (สมจิต สวธนไพบูลย์. 2541: 1)

ในปัจจุบันการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แม้ว่าได้มีการปรับปรุงแก้ไขมาโดยตลอดแต่ก็ยังพบปัญหาอุปสรรคอีกมากมาย ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเห็นตรงกันว่าเป็นวิชาที่ยากทำให้มีปัญหาในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และมีนักเรียนจำนวนไม่น้อยไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เพราะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจมากนัก ดังที่กรอบวิสัยทัศน์และทิศทางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พุทธศักราช 2545-2549) ได้สรุปคุณภาพของเด็กไทยในช่วงที่ผ่านมาว่ายังไม่ดีเท่าที่ควร ระบบการศึกษาและกระบวนการเรียนรู้ยังปรับไม่ทันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไม่ได้มาตรฐานไม่ได้สร้างคนให้คิดเป็น ทำเป็น มีคุณธรรม และจริยธรรม ส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2543: 10) จากสภาพปัญหาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับ การแก้ไข และพัฒนาอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุตามจุดมุ่งหมายของการปฏิรูปกระบวนการเรียนรู้ตามที่บัญญัติไว้ในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542

แนวคิดของนักการศึกษาในปรัชญาพิพัฒนนิยม (Progressivism) มองว่าการศึกษาต้องพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา โดยจัดให้ผู้เรียนได้เรียนตามความสนใจ ความถนัด และลักษณะของผู้เรียน การสร้างความรู้เกี่ยวข้องกับสภาพสังคม และชีวิตประจำวันของผู้เรียนให้มากที่สุด ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้ดีเมื่อได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและจากการทำงานร่วมกันระหว่างผู้เรียน (ระพินทร์ คร้ามมี. 2544: 12)

ในการพัฒนาผู้เรียนเพื่อให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 อาจกระทำได้หลายวิธีรวมทั้งวิธีการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงโดยการสัมผัสธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยตนเอง ได้พัฒนาด้านทักษะกระบวนการ ซึ่งเป็นความสามารถพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการฝึกให้ผู้เรียนเป็นคนมีระเบียบวินัย มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี ใจกว้างยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น เอื้อเฟื้อเผื่อแผ่มีความสามัคคีภายในหมู่คณะ (กรมวิชาการ. 2543: 3)

จากสภาพการณ์ที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงได้นำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาผสมผสานกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียในการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นนวัตกรรมในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ และยังเป็นการเสริมสร้างให้นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมรวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ในรูปของการลดปริมาณสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยในน้ำเสีย

2. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพระดับดี และมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

3. เพื่อนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยศึกษาผลการเรียนรู้ ดังนี้

   3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

   3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

   3.3 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลในด้านประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ รวมทั้งได้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีคุณภาพระดับดี และมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และมีศักยภาพในการพัฒนาผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวจะเป็นประโยชน์แก่ครูผู้สอนในการพัฒนา และส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น และมีเจตคติที่ดีในการอนุรักษ์น้ำ อีกทั้งได้แนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการเพื่อนำไปสร้างบทปฏิบัติการอื่นๆ ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ซึ่งได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

1. ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพเป็นแบบใช้ออกซิเจน โดยใช้เครื่องเติมอากาศให้กับน้ำเสีย

2. น้ำเสียที่นำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพ เป็นน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ได้มาจากอาคารอำนวยการ อาคารหอสมุด อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน และอาคารสโมสรนิสิต ซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใดๆ มาก่อน

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

4. ตัวแปรที่ศึกษา

4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศให้กับน้ำเสีย

4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ ตามค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

4.2.1 อุณหภูมิ (Temperature)

4.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (positive potential of the Hydrogen ions: pH)

4.2.3 ค่าดีโอ (Dissolve Oxygen: DO)

4.2.4 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

4.2.5 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

4.2.6 ค่าน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)

4.2.7 ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspened Solid: SS)

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1 .บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่จะพัฒนามี 5 บท คือ

1.1 บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

1.2 บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง ความสำคัญของน้ำ

1.3 บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย

1.4 บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

1.5 บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ

2. บทปฏิบัติการมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.1) ชื่อบทปฏิบัติการ 2.2) ใบความรู้ 2.3) หลักการ 2.4) จุดประสงค์ 2.5) เวลาที่ใช้ 2.6) อุปกรณ์และสารเคมี 2.7) วิธีการทดลอง 2.8) แบบรายงานผลการทดลอง และ 2.9) คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

3. คุณสมบัติขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการ

3.1 องค์ประกอบที่ 1 ชื่อบทปฏิบัติการ ต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของบทปฏิบัติการที่ต้องการเป็นอย่างไร

3.2 องค์ประกอบที่ 2 ใบความรู้ ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด สอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

3.3 องค์ประกอบที่ 3 หลักการ ต้องมีความสอดคล้องกับบทปฏิบัติการ และเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

3.4 องค์ประกอบที่ 4 จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของบทปฏิบัติการนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้วัดได้ เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง

3.5 องค์ประกอบที่ 5 เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่กำหนด

3.6 องค์ประกอบที่ 6 อุปกรณ์และสารเคมี ต้องเหมาะสมกับระดับนักเรียน และเรื่องที่ทำการทดลอง

3.7 องค์ประกอบที่ 7 วิธีการทดลอง ต้องกำหนดให้ชัดเจน เข้าใจง่าย นักเรียนจะได้ปฏิบัติได้ถูกต้อง

3.8 องค์ประกอบที่ 8 แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอน และสอดคล้องกับเนื้อหาวิชาและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สอน

3.9 องค์ประกอบที่ 9 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แนวคิด และเนื้อหาที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นที่คาดหวังว่าบทปฏิบัติการมีความเหมาะสมและผู้สอนสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วผู้เรียนจะสามารถตอบข้อคำถามในแบบทดสอบเพื่อประเมินผลผู้เรียนในแต่ละกิจกรรมได้ถูกต้อง

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

1. การทดลองสอน

1.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนช่วงชั้นที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งอยู่ภายใต้หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2544

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 จำนวน 40 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi - stage random sampling)

1.2 ตัวแปรต้น ได้แก่ การสอนโดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1.3 ตัวแปรตาม ได้แก่

1.3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

1.3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

1.3.2 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

2. ระยะเวลาที่ในการทดลองสอน

ทดลองสอนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 ในคาบวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 คาบ คาบละ 50 นาที รวม 10 คาบ

นิยมศัพท์เฉพาะ

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย หมายถึง ความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย

2. เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ หมายถึง เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ โดยผู้วิจัยใช้เกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ดังนี้

2.1 เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ใช้เปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย

2.2 เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 ใช้เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิ

2.3 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2529 ใช้เปรียบเทียบกับค่าดีโอ

3. น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ กลายเป็นน้ำที่มีคุณสมบัติที่ไม่ต้องการ จนมีผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

4. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องเติมก๊าซออกซิเจนลงไปในน้ำโดยใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตทำให้เกิดประสิทธิภาพในการย่อยสลายมากขึ้น ส่งผลให้สารอินทรีย์ ที่อยู่ในน้ำเสียมีปริมาณลดลง

5. การพัฒนาบทปฏิบัติการ หมายถึง กระบวนการวิจัยและพัฒนาซึ่งนำทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ การหาคุณภาพ ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และการทดลองสอน

6. คุณภาพของบทปฏิบัติการ หมายถึง คุณภาพระดับดีของบทปฏิบัติการซึ่งได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.51-4.50 จากมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

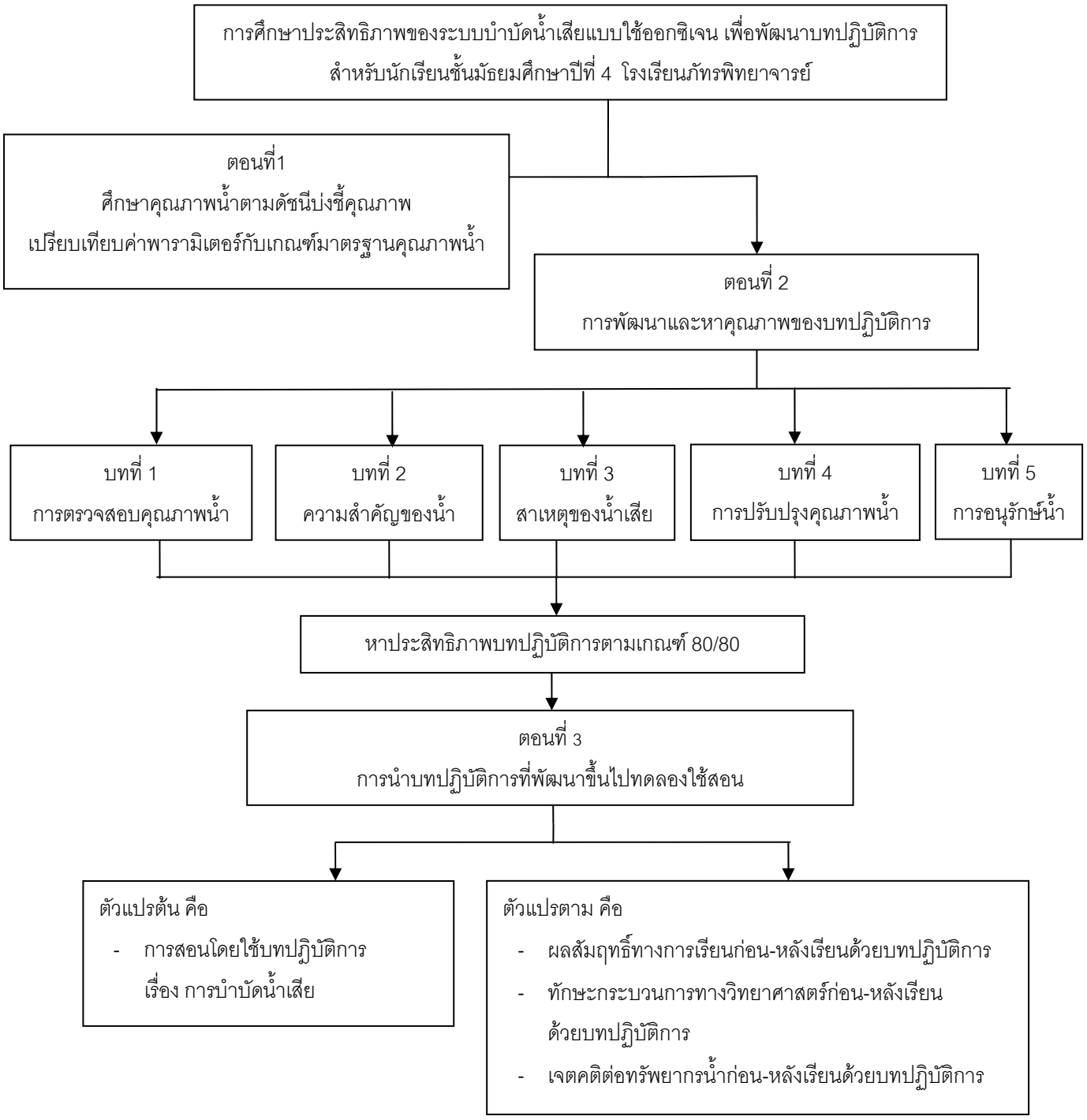
7. ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ หมายถึง ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ที่ได้จากอัตราส่วนร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนเฉลี่ยระหว่างบทเรียนย่อยกับคะแนนสอบรวบยอด

8. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้จากการใช้สมองของผู้เรียนเป็นกลไกในการเรียนรู้ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

9. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมทักษะด้านการสังเกต การวัด การทดลอง และด้านการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

10. เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ หมายถึง การแสดงออกซึ่งความรู้สึก การรับรู้ ความคิดเห็นต่อข้อความที่แสดงถึงเหตุการณ์เกี่ยวกับทรัพยากรน้ำ รวมทั้งปัญหามลพิษในการที่จะปรับปรุง ป้องกันและดูแลรักษา ซึ่งได้จากการใช้แบบวัดเจตคติแบบมาตราส่วน ประมาณค่า 5 ระดับ เป็นเครื่องมือวัดผล

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

2. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ใช้ t - test กรณี Dependent Sample (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

3. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ใช้ t - test กรณี Dependent Sample (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

4. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ใช้ t - test กรณี Dependent Sample (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ
5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ
6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ตรวจวัด
7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน
8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ
9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
10. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
11. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเจตคติ
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    - 12.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน
    - 12.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ
    - 12.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

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

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของมวลสาร สารเคมีที่เป็นพิษหรือมีสัดส่วนขององค์ประกอบผิดไปจากธรรมชาติจนมีผลต่อสุขภาพ และอนามัยของมนุษย์ สัตว์ และพืช (เกษม จันทร์แก้ว. 254x: 502)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ อยู่ในปริมาณสูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 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 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542: 2) ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคาร โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ร้านค้า และอาคารสำนักงาน เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนมากจะมีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเป็นสาเหตุหลักของการทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: อนนไลน์)

1.2.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท น้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นน้ำล้างจากกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การล้างถังหรือภาชนะทุกประเภท (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542: 2) ทำให้องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น สารเคมี และโลหะหนัก เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตรวมทั้งระบบควบคุม และบำรุงรักษา (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: อนนไลน์)

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

ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: อนนไลน์)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ประเภทของน้ำเสียสามารถจำแนกตามกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กิจกรรมของชุมชน อุตสาหกรรม และกิจกรรมทางการเกษตร จึงส่งผลให้เกิดสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์

1.3 ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสีย

ลักษณะที่สำคัญของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1.3.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ ประกอบที่สำคัญ ธาตุไฮโดรเจน และอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ตัวอย่างของสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี

1.3.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

1.3.3 โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น ปรอท 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 (Archaebacteria) โดยสองกลุ่มหลังมักเรียกรวมกันว่า กลุ่มโพรคาริโอต (Procaryotes) ซึ่งแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่มยูคาริโอต (Eucaryotes) ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ รา โปรโตซัว โรติเฟอร์ และสาหร่าย (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: ออนไลน์)

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

1.4 การบำบัดน้ำเสีย

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

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำเสียหรือนำมาบำบัดสภาพให้สะอาดจนมีของเสียเหลือน้อยมากเท่าที่เทคโนโลยีจะอำนวยความสะดวก เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต 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 กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดคือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังดักตะกอน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

1.5.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ 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 (Agtivated sludge) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological contactor) ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) เป็นต้น (กองจัดการคุณภาพน้ำควบคุมมลพิษ. 2545: 24-25)

จากการจำแนกประเภทของการบำบัดน้ำเสียสรุปได้ว่า การเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย แม้ว่าการบำบัดแต่ละประเภทจะมีวิธีการที่แตกต่างกันแต่สิ่งที่เหมือนกันก็คือ เพื่อกำจัดสารพิษออกจากน้ำเสียทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

1.6 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1.6.1 การบำบัดเบื้องต้น (Primary treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดทราย ถังตกตะกอนเบื้องต้น และบ่อดักไขมัน การบำบัดน้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50-70 และกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ร้อยละ 25-40

1.6.2 การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการเบื้องต้นมาแล้วแต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็ก สารอินทรีย์ที่ละลาย และไม่ละลายในน้ำเสียเหลือค้างอยู่โดยทั่วไป การบำบัดขั้นที่สองจะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอนทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงผ่านน้ำเข้าสู่ระบบฆ่าเชื้อโรคเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อนก่อนที่จะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

1.6.3 การบำบัดขั้นสูง (Advance treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยากและอื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นเหตุทำให้น้ำเน่า แก้ปัญหาความน่ารังเกียจของแหล่งน้ำอันเนื่องจากสี และการแก้ไขปัญหาอื่นๆ ที่ระบบบำบัดขั้นที่สองไม่สามารถกำจัดได้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ ควบคุมมลพิษ. 2545: 26-27)

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียแต่ละขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่แตกต่างกันออกไป เริ่มจากการบำบัดขั้นต้นเป็นการแยกสิ่งสกปรกโดยกระบวนการทางกายภาพ แต่ยังมีสิ่งสกปรกบางประเภทที่ยังไม่ถูกบำบัดจะถูกส่งเข้าสู่การบำบัดขั้นที่สองซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดสิ่งสกปรก และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการบำบัดขั้นสูงเพื่อบำบัดสิ่งสกปรกที่เหลือจากการบำบัดในขั้นที่ผ่านมาทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่หรือปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้

2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียจะช่วยทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเคมีแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาจึงแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีออกได้เป็นการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic treatment) และการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic treatment) การบำบัดด้วยวิธีชีววิทยาจะต้องประกอบด้วย ถังปฏิกิริยา (Reactor) ซึ่งใช้เป็นที่ให้แบคทีเรียทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย, การควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย, การแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำที่ออกจากถังปฏิกิริยา (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 280)

2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนมีหลายระบบเริ่มตั้งแต่ระบบบ่อตาก (Oxidation ponds) ที่ต้องอาศัยธรรมชาติมากที่สุด และไม่มีเครื่องจักรกลมาก อย่างไรก็ตามระบบบำบัดต่างๆ นี้อาศัยหลักการอันเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระ ดังนั้นระบบบำบัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมสภาพต่างๆ ที่เอื้ออำนวยให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 288) ระบบบำบัดแบบนี้ น้ำเสียจะต้องมีอาหารเสริมให้กับน้ำทิ้งอย่างพอเพียง ในปริมาณอัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส(BOD : N : P) สูงสุดประมาณ 100 : 5 : 1 นอกจากนี้น้ำทิ้งต้องมีอุณหภูมิ (Temperature) และค่าความเป็น กรด–ด่าง (pH)

ที่เหมาะสมและไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ที่สำคัญที่สุดคือในน้ำทิ้งต้องมีปริมาณออกซิเจนพอเพียง ซึ่งออกซิเจนอาจได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (Algae) และการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ (Atmospheric aeration) หรือจากการอัดอากาศลงในน้ำเสีย (Diffused aeration) การใช้เครื่องมือผสมอากาศกับน้ำเสีย (วีระ ตั้งชวาล. 2545: 214)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอิสระจะแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่แบคทีเรียแขวนลอย ได้แก่ ระบบบ่อออกซิเดชั่น (Oxidation ponds) และระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และประเภทแบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางอย่างหนึ่ง (Bacterial bad) ซึ่งอาจอยู่กับที่ (Fixed bed) เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) หรือเคลื่อนที่ (Moving bed) เช่น ระบบจานชีวภาพ (Biological discs) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 288)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบบำบัดแบบบ่อตาก (Oxidation ponds) เป็นบ่อดินธรรมดาหรือบ่อดินดาดด้วยคอนกรีต หรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การบำบัดเป็นแบบต่อเนื่องคือน้ำทิ้งจะไหลเข้าและออกจากบ่อบำบัดตลอดเวลาในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อบำบัด แบคทีเรียจะทำลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) ออกซิเจนเกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการนี้ได้มาจากการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของสาหร่าย (Algae) เนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนแบบนี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน อัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำลายสารอินทรีย์จึงค่อนข้างช้า ระบบบำบัดแบบบ่อตาก (Oxidation ponds) จึงต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อตาก (Oxidation ponds) ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จะได้จากการสังเคราะห์แสง ระบบบำบัดน้ำจึงใช้ได้ผลดีในบริเวณที่มีแสงแดดมาก เช่น ในประเทศไทย (สนอง ทองปาน. 2540: 14) บ่อแอโรบิคมีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อ มีสภาพแอโรบิคตลอดความลึก บ่อแอโรบิคได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้าบ่อแอโรบิคอาจแบ่งออกเป็น 2 แบบตามวัตถุประสงค์การทำงาน (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 256–257) คือ

1.1 บ่อแอโรบิคแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อนี้มีความลึกได้ประมาณ 1-1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้า

1.2 บ่อแอโรบิคแบบผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุด ใช้สาหร่ายเปลี่ยนน้ำทิ้งให้เป็นสาหร่ายให้มากที่สุด แล้วเก็บเกี่ยวเพื่อนำโปรตีนไปใช้ รูปร่างของบ่อแบบนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ความลึกของบ่อปริมาณ 0.2 ถึง 0.6 เมตร สิ่งที่อยู่ในบ่อจะต้องได้รับการกวนครั้งหนึ่ง

หรือสองครั้งในวันหนึ่งๆ เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมา และจำเป็นต้องแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งออกขั้นสุดท้าย

2. ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoons) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดกับทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเติมออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand; BOD) ได้ร้อยละ 80–95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมในบ่อด้วย ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ (กรมควบคุมมลพิษ. 2545: 70-71)

3. ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนหรือเร่งตะกอน (Activated sludge) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรีย พวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้บำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด (กรมควบคุมมลพิษ. 2545: 86-87)

4. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองเวียน (Oxidation ditch: OD) เป็นระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) ประเภทหนึ่งที่ใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้ง โดยวิธีการตกตะกอน การเดินระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการทำงานและการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด (กรมควบคุมมลพิษ. 2545: 102– 103)

สรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนจะใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียด้วยออกซิเจนในรูปแบบปฏิกิริยาแบบชีวเคมี โดยปริมาณออกซิเจนจะได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ สามารถแบ่งเป็นระบบต่างๆ ตามวิธีการให้ออกซิเจน และการควบคุมกิจกรรมของแบคทีเรีย ได้ดังนี้คือระบบบำบัดแบบบ่อตาก ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองเวียน

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในตะกอน ลักษณะจำเพาะของระบบคือ สามารถสร้างมีเทนจากสารอินทรีย์ ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้แตกต่างกัน (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 282)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงไม่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนักในประเทศที่มีอากาศหนาวเพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสีย (สนอง ทองปาน. 2540: 16)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบ่งออกเป็น 10 ระบบ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 282–292) คือ

1. ระบบบำบัดแบบบ่อไร้ออกซิเจน หรือบ่อเหม็น (Anaerobic pond) มักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่มีความลึกประมาณ 3–4.5 เมตร ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียประมาณ 1 เดือน โดยมีท่อน้ำเสียเข้าส่วนล่างของบ่อเพื่อให้เกิดตะกอน และเกิดการย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้อากาศเกิดเป็นกรดอินทรีย์ (Organic acid) มีลักษณะเป็นน้ำใส และจะระบายไปบ่อน้ำเสียแบบกึ่งแอโรบิค (facultative oxidation pond) ทั้งนี้กรดอินทรีย์บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ในขณะเดียวกันไขมัน หรือตะกอนลอยที่ระบายมากับน้ำเสียก็จะลอยตัวอยู่บนผิวน้ำป้องกันมิให้อากาศภายนอกซึมลงในบ่อ เกิดสภาพไร้อากาศ ระบบแบบบ่อไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง และอาจมีกลิ่นไม่ดี ระบบนี้จึงเหมาะเฉพาะกับชนบท หรือชานเมือง

2. ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ (Septic tank) มักจะสร้างเป็นบ่อคอนกรีตปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ใต้พื้นดิน ใช้รับน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มากนัก มีระยะเวลากักน้ำประมาณ 1–3 วัน การทำงานเหมือนกับบ่อเหม็นทุกประการ น้ำใสที่ระบายจากบ่อเกรอะจะต่อไปกับบ่อเติมอากาศระบบแบบเอเอส หรือถังกรองไร้อากาศ การดูแลรักษาจะต้องทำการสูบตะกอนภายในบ่อทุกๆ 1–1.5 ปี มิฉะนั้นประสิทธิภาพของบ่อจะลดลง หรือตะกอนแข็งทำให้สูบตะกอนได้ยากในภายหลัง ปกติระบบนี้จะลดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ประมาณ 30% บ่อเกรอะมักใช้น้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีประชากรไม่เกิน 300 คน และมักมีบ่อซึมตามเสมอ

3. ระบบบำบัดแบบถังหมักธรรมดา (Conventional anareobic didgestion) เป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในการย่อยสลายตะกอนจาก ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) ระบบบำบัดประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งส่วนใหญ่เป็นถังคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซบนฝามีทางระบายก๊าซที่เกิดขึ้น ระบบถังหมักธรรมดามี 2 แบบ คือ

3.1 ถังหมักชนิดอัตรากำจัดต่ำ (Low rate anaerobic digestion) ในถังไม่มีเครื่องกวนทำให้มีตะกอนหนักจมก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นบนเบาจะหนาหลายฟุตซึ่งเป็นการลดปริมาตรของถังย่อย และยังทำให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) ได้ง่ายอีกด้วย

3.2 ถังหมักอัตรากำจัดสูง (High rate anaerobic digestion) ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง ถังแบบนี้มีการลัดวงจรน้อย ทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียน้อยลง และประสิทธิภาพดีกว่าอัตรากำจัดต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์สัมผัสกับของเสียได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้จำเป็นต้องมีการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกก่อน

ระบบถังหมักธรรมดาทั้งสองแบบมิได้นำตะกอนจุลินทรีย์กลับมาใช้อีก เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนนั้นช้ามาก ดังนั้นต้องการระยะเวลากักเก็บน้ำนานประมาณ 10–30 วัน

4. ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic contact) เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง ซึ่งอาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบไม่มีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้น ถังหมักแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ บางครั้งอาจเรียกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Activated Sludge) การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอน ทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของซีโอดีที่เหมาะสมคือ 4,000–50,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5. ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสองเฟส(Two-phase anaeorobic digestion) เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการทำงานของจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิดโดยมีส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟสที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมักใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 จะมีแบคทีเรียประเภทสร้างกรด ถังใบที่สองซึ่งมีพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้นก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถัง เพื่อให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด

6. ระบบเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic filter) มีส่วนประกอบสำคัญคือถังที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5–2“ หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมถังสูงตลอดเวลา และทำให้แบคทีเรีย

ส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจึงมีความใส โดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก ถังหมักแบบนี้เหมาะสมสำหรับกำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เพราะมี SRT (Sludge retention time) สูงกว่ามาก อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ ต้องหาวิธีกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเช่นกัน แต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาลงได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสีย ก่อนเข้าถังกรองไร้ออกซิเจน

7. ระบบบำบัดแบบ Anaerobic fluidzed bed (AFB) ระบบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบตรึงฟิล์ม (Fixed film) แบบไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางขนาดเล็กเท่ากับเม็ดทรายเป็นที่จับของแบคทีเรีย อัตราการไหลของน้ำจะสูงมาก จนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางได้แก่ ทราย, แอนทราไซต์, ถ่านกัมถันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกรองไร้ออกซิเจน) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมาก ในระบบอัตราเร็วในการกำจัดของเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบนี้จึงมีขนาดเล็กกว่า ระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลา ก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่นระบบนี้จึงยังไม่ได้ยอมรับ

8. ระบบบำบัดแบบ Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) เป็นระบบที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อตัดสารตัวกลางออกจากระบบ ทิศทางการไหลของน้ำเสียจากข้างล่างขึ้นข้างบนแต่ไม่ใช้ตัวกลาง แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ด หรือฟล็อกจนกระทั่งมีน้ำหนักมากจนสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยา จะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ที่ไม่จมลงก้นถัง

9. ระบบบำบัดแบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic rotating biological contactor หรือ ARBC) ลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานชีวะหมุน (RBC) เพียงแต่มีฝาปิดเพื่อป้องกันมิให้สัมผัสอากาศภายนอกและมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน ผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนผิวจาน

10. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic baffled reactor หรือ ABR) มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดลงอยู่ในแนวนอน ถังปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ นี้เป็นระบบที่มีพื้นผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำได้ดีโดยไม่ต้องมีการใช้อุปกรณ์ตกตะกอนอื่นๆ ก๊าซสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ดีและง่ายเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์สามารถกระทำได้ผลดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบจำนวนมาก การกำจัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราเร็วสูง

สรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากในเขตร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียมาทำการย่อยสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน แต่ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีผลเป็นพิษต่อแบคทีเรียเป็นผลให้ใช้เวลาในการบำบัดน้อยลง ลดปริมาณตะกอน และกลิ่นเหม็น

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment system) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระหรือเป็นการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ต้องการอากาศหรือออกซิเจนในการดำรงชีวิตซึ่งส่วนใหญ่ จะเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Aerobic heterotrophic bacteria (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549: 257)

ระบบบำบัดน้ำเสียใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment system) เป็นกระบวนการ บำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยการเติมอากาศลงในน้ำเพื่อให้จุลินทรีย์ได้ใช้ออกซิเจนแล้วเกิดปฏิกิริยา ชีวะเคมีขึ้น เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้สารอินทรีย์ มีปริมาณลดน้อยลง (เชิดศักดิ์ อ่อนระยับ. 2548: 30)

สรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment system) เป็นระบบบำบัด น้ำเสียที่ต้องเติมออกซิเจนลงไปในน้ำ เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ที่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดประสิทธิภาพในการย่อยมากขึ้นส่งผลให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ มีปริมาณลดลง

3.1 ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ (2540: 288) กล่าวว่าออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มาจาก

3.1.1 การสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

3.1.2 การถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติ ระหว่างน้ำกับอากาศ ตัวอย่างเช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อออกซิเดชัน การผสมอากาศกับน้ำเสียโดยใช้เครื่องมือกล (Mechanical aeration) หรือโดยการอัดอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรง (Diffused aeration) เช่น ในระบบบำบัดสระเติมอากาศและแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์

3.1.3 การอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปในน้ำเสีย เช่น ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ แบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (Pure oxygen activated sludge)

สรุปได้ว่า ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของอัลจี การถ่ายเทตามธรรมชาติ และการอัดก๊าซออกซิเจนลงไปในน้ำเสีย

3.2 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

ในการควบคุมระบบบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระต้องคำนึกถึงปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 289-291)

3.2.1 ธาตุอาหาร ในระบบบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระต้องการปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าระบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ น้ำเสียจะต้องมีธาตุอาหารอย่างเพียงพอ นั่นคืออัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ ประมาณ 100 : 5 : 1

3.2.2 อุณหภูมิ ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระต้องไม่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เพราะถ้าสูงเกินไปแบคทีเรียจะไม่ทำปฏิกิริยาย่อยสลาย อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 35 องศาเซลเซียส

3.2.3 พีเอช น้ำเสียจะต้องไม่เป็นกรดหรือด่างเกินไป ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับแบคทีเรียด้วย โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 5–9 ในการควบคุมระบบบำบัดควรปรับให้มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7-8

3.2.4 โลหะเป็นพิษ โลหะต่างๆ ถ้ามีปริมาณความเข้มข้นมากเกินไปจะเกิดเป็นพิษแก่แบคทีเรียขึ้นได้โดยตรง โลหะเหล่านี้ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ปรอท แคดเมียม นิกเกิล และทองแดง เป็นต้น

3.2.5 ปริมาณออกซิเจนละลายในระบบบำบัดแบใช้ออกซิเจนอิสระ ต้องมีปริมาณออกซิเจนละลายในระบบอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบแอกทิวิเต็ดสลัดจ์ ควรมีออกซิเจนละลายอยู่ระหว่าง 1-2 มก./ลบ.ดม. สำหรับสระเติมอากาศแบบออกซิเจนละลายอาจต่ำได้ถึง 1 มก./ลบ.ดม.

3.2.6 ปริมาตรสลัดจ์ (Sludge volume, SV) เอสเอสและค่าสลัดจ์วอลุมอินเดกซ์ (SVI) ปริมาตรสลัดจ์ และเอสเอส หมายถึง ปริมาณของมวลแบคทีเรียซึ่งวัดออกเป็นหน่วยปริมาตร และหน่วยน้ำหนักต่อ 1,000 ลบ.ซม. ตามลำดับ ในระบบสระเติมอากาศ ค่าเอสวีและค่าเอสเอสจะไม่มากนักมีค่าไม่เกิน 100 ลบ.ซม./ลบ.ดม. และ 1,000 มก./ลบ.ดม. ตามลำดับ ระบบสระเติมอากาศมีค่าระยะเวลาในการบำบัดเท่ากับอายุของสลัดจ์ เพราะไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์กลับเข้าสู่ระบบอีก

3.2.7 การตรวจสอบจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นการตรวจสอบเพื่อดูชนิดและปริมาณของจุลชีพ สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกให้ผู้ควบคุมระบบบำบัดทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้

3.2.8 การตรวจวิเคราะห์ค่าซีดีโอ บีโอดี และเอสเอส ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบว่าดีหรือเลว ผิดปกติหรือไม่ หรือเป็นการตรวจสอบอัตราการเติมสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด

ซีโอดี บีโอดี และเอสเอส มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแอนแอโรบิก คือ สามารถกำจัดซีโอดี บีโอดี และเอสเอส ได้ร้อยละ 60–80, 80–95 และ 75–90 ตามลำดับ

3.2.9 การเติมสารอินทรีย์ต่อวัน เวลาในการบำบัด และอายุของสลัดจ์ ในระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ค่าเหล่านี้มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นค่าที่ควบคุมประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม

สรุปได้ว่า สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนต้องมีการรักษาระบบและอัตราที่ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ปราศจากโลหะเป็นพิษจำพวกตะกั่ว สังกะสี ปรอท แคดเมียม นิกเกิล และทองแดงที่มีผลต่อเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 7-8 อุณหภูมิ ประมาณ 35 องศาเซลเซียส โดยสภาพแวดล้อมดังกล่าวทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดของเสียในรูปของสารอินทรีย์ในระบบ

3.3 ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ (2540: 289-291) กล่าวถึง ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ดังนี้

3.3.1 สามารถบำบัดน้ำเสียให้สะอาดถึงระดับที่ต้องการโดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุดต้องบำรุงรักษาน้อยที่สุด และใช้ผู้ควบคุมที่ไม่ต้องมีฝีมือมากนัก

3.3.2 สามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าวิธีแอนแอโรบิค

3.3.3 ระบบทนทานต่อการเพิ่มอย่างกะทันหันของอัตราการรับสารอินทรีย์และอัตราการไหล

3.3.4 ระบบสามารถบำบัดน้ำทิ้งต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.5 วิธีการสร้างระบบง่าย

3.3.6 สาหร่ายที่ผลิตจากบ่อบำบัด สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง ซึ่งถือเอาประโยชน์ได้โดยการเลี้ยงปลา

สรุปได้ว่าประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการสร้างระบบง่าย และเป็นประโยชน์เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง

4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ

4.1 ระบบบ่อเติมอากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon system) เป็นระบบบำบัด น้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ ที่ติดตั้งบนทุ่นลอย หรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสาร อินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ บ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของ น้ำเสียในรูปของค่าบีโอดีได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะ ที่มีออกซิเจนโดยมีเครื่องเติมอากาศ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้ว ยังทำให้เกิด การกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ (กรมควบคุมมลพิษ. 2545: 70-71) แท่น

สระเติมอากาศบางครั้งนิยมเรียกว่าบ่อเติมอากาศ โดยพัฒนาจากบ่อย่อยสลายธรรมชาติที่ส่งกลิ่นเหม็น จึงมีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ เพื่อช่วยรับภาวะน้ำเสียที่เข้ามาให้เกิด การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้ลดปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากบ่อ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539: 76)

สรุปได้ว่า สระเติมอากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่อง เติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพัฒนาจากบ่อย่อยสลาย ธรรมชาติที่ส่งกลิ่นเหม็น

4.2 ระบบถังเติมอากาศ

ถังเติมอากาศเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการตะกอนเร่ง โดยเป็นตัวซึ่งควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพที่ใช้บำบัดน้ำเสีย ซึ่งมวลสารส่วนใหญ่จะถูกบำบัดในถังนี้ ขนาดของถังขึ้นอยู่กับแบบต่างๆ ของกระบวนการ ความเข้มข้นของมวลสารอินทรีย์และประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยทั่วไปจะมีระยะเวลาเก็บกักในถังเติมอากาศนี้ประมาณ 0.5–24 ชั่วโมง ส่วนรูปร่างของถังเติมอากาศขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของการออกแบบตามกระบวนการที่ต้องการวัสดุที่ใช้ก่อสร้างจะต้องแข็งแรง และป้องกันการกัดเซาะของน้ำที่ไหลด้วยความเร็วได้ดี เช่น ถังคอนกรีตหรือเหล็ก เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 173)

เครื่องสูบ (Pumps) หมายถึง เครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานศักย์ให้กับของไหลเกิดการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีพลังงานต่ำไปยังตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์สูงขึ้นดังนั้น เครื่องสูบจะต้องมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ 1) อุปกรณ์ทำหน้าที่ดูด 2) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คลาย (สนอง ทองปาน. 2540: 64)

ระบบเติมอากาศ (Aeration system) การเติมอากาศมีวัตถุประสงค์อยู่ 2 อย่าง คือ เพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำและกวนน้ำตะกอน ในถังเติมอากาศให้มีความเร็วสูงพอที่จะไม่เกิดการตกตะกอนที่ก้นถัง วิธีการเติมอากาศทำได้ทั้งแบบใช้เครื่องเป่าอากาศลงไปในน้ำ หรือแบบใช้เครื่องกลในการเติมอากาศ เพื่อตีน้ำให้มาสัมผัสกับอากาศ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 173-180)

4.2.1 ระบบเป่าอากาศ (Diffused air system) ระบบเติมอากาศแบบเป่าอากาศเป็นที่นิยมแพร่หลายในกระบวนการตะกอนเร่งโดยใช้เครื่องเป่าอากาศ อัดอากาศส่งตามท่อไปยังหัวจ่ายอากาศ ซึ่งติดตั้งที่ก้นถังเติมอากาศ เพื่อให้อากาศมีเวลาสัมผัสกับน้ำตะกอนให้นานที่สุด

หัวจ่ายอากาศ (Air diffuser) ทำหน้าที่สำคัญในการสร้างฟองอากาศเพื่อถ่ายออกซิเจนลงไปในน้ำตะกอน ถ้าแบ่งอย่างกว้างๆ มีอยู่สองชนิดคือ หัวกระจายอากาศแบบฟองเล็กและหัวกระจายอากาศแบบฟองขนาดใหญ่

4.2.2. ระบบเครื่องกลเติมอากาศ (Mechanical aeration systems) เครื่องกลเติมอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 4 แบบใหญ่ๆ คือ แบบเครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า แบบเครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ และแบบเครื่องเติมอากาศใต้น้ำ และแบบหัวฉีด เครื่องกลเติมอากาศแต่ละชนิดจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เพื่อการใช้งานให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์

4.2.2.1 เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface aerators) เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้าทำหน้าที่ตีน้ำที่ระดับผิวบนให้กระจายเป็นเม็ดเล็กๆ ขึ้นมาสัมผัสกับอากาศเพื่อรับออกซิเจนในขณะเดียวกันก็จะเป็นการกวนน้ำให้ผสมกันเพื่อกระจายออกซิเจนและมวลสารในน้ำเสียให้ทั่วทั้งบ่อ และเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลชีพตกลงที่ก้นถังอีกประการหนึ่งด้วย เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้าแบ่งออกตามลักษณะของการตีน้ำได้ 2 แบบคือ แบบเพลาตีน้ำอยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งจะตีน้ำออกตามแนวรัศมีของใบพัดตีน้ำ มีลักษณะเหมือนกับการสูบตะกอนให้น้ำตะกอนไหลหมุนเวียนในแนวดิ่ง และเพลาตีน้ำอยู่ในแนวนอน ซึ่งจะตีน้ำไหลไปในทิศทางการหมุนของใบพัดตีน้ำซึ่งวางอยู่ในแนวนอน เครื่องเติมน้ำทั้งสองแบบนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งบนฐานยึดติดกับที่และแบบทุ่นลอย

4.2.2.2 เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged turbine aerators) เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำมีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศและระบบเครื่องกลเติมอากาศ กล่าวคือ อากาศหรือออกซิเจนจะถูกเป่ามาตามท่อมาที่ใต้ใบพัดตีน้ำ จากนั้นอากาศจะถูก

ใบพัดเทอร์ไบน์ ตีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่วถังเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศชนิดนี้มีความสามารถในการให้ออกซิเจนแก่น้ำได้สูงแต่มีราคาแพงและต้องการการบำรุงรักษามากกว่าแบบอื่นๆ ประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนประมาณ 1.5–2.0 ออกซิเจนต่อแรงม้า–ชั่วโมง

4.2.2.3 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible aerators) เครื่องเติมอากาศแบบใต้น้ำเป็นแบบซึ่งได้รับการพัฒนามาในระยะเวลาไม่นานนัก โดยมีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องสูบน้ำเครื่องอากาศ และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ อยู่ในเครื่องเดียวกัน มีความสามารถในการให้ออกซิเจนแก่น้ำประมาณ 0.8-1.2 กก.ออกซิเจนต่อแรงม้า–ชั่วโมง มีความสามารถในการกวนน้ำจำกัด แต่มีข้อดีคือ ไม่มีเสียงรบกวนและไม่มีการฟุ้งกระจายของละอองน้ำเหมือนเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ

4.2.2.4 เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (Jet aerators) การเติมอากาศแบบใช้หัวฉีดมี 2 แบบ แบบแรกจะใช้หลักการของ เวนทูรี่ อินเจคเตอร์ ส่วนแบบที่สองจะเป็นการสูบฉีดน้ำลงบนผิวน้ำ

- เวนทูรี่ อินเจคเตอร์ (Venturi ejector) อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบใต้น้ำฉีดน้ำผ่านท่อที่มีรูปร่างเป็น Venturi เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำ ก็จะถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนประมาณ 0.6–1.0 กก. ออกซิเจนต่อแรงม้า–ชั่วโมง การใช้เครื่องเติมอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียซึ่งไม่มีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่ เพราะอาจจะเข้าไปอุดตันในท่อเวนทูรี่ (Venturi) ได้ง่าย
- เครื่องเติมอากาศชนิดสูบน้ำฉีดน้ำลงที่ผิวน้ำ (Water jet aerator) เป็นการสูบน้ำจากถังเติมอากาศมาฉีดด้วยความเร็วสูงลงที่ผิวน้ำ ซึ่งจะเกิดการกระจายของอากาศลงไปตามแรงฉีดเข้าไปในน้ำ เครื่องเติมอากาศชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งการกวนแบบสมบูรณ์ หรือแบบไหลเป็นวงจร ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความเร็วของน้ำที่ไหลด้วยว่า จะต้องสูงเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น ประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนมีค่าประมาณ1.5 กก.ออกซิเจนต่อแรงม้า-ชั่วโมง

สรุปได้ว่า ระบบเติมอากาศเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำและกวนน้ำตะกอน โดยการเติมอากาศทำได้ 2 วิธีคือ ใช้เครื่องเป่าอากาศลงไปในน้ำ และใช้เครื่องกลในการเติมอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นที่ถังเติมอากาศ จะทำหน้าที่เป็นตัวซึ่งควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

4.3 การจัดรูปแบบถังเติมอากาศ

การเปลี่ยนแปลงแบบของกระบวนการโดยใช้ลักษณะทางกายภาพของการจัดรูป ถังเติมอากาศทำให้ผู้ควบคุมมีความคล่องตัวในการควบคุมการทำงานและการแก้ไขปัญหาซึ่งแบ่ง ลักษณะใหญ่ๆ ออกเป็น 5 แบบ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538: 165-172) คือ

4.3.1 กระบวนการตกตะกอนเร่งแบบกวนสมบูรณ์ (Complete mix activated sludge process) ลักษณะสำคัญของกระบวนการตกตะกอนเร่งแบบกวนสมบูรณ์ จะต้องมีถังเติมอากาศสามารถกวนให้น้ำและตะกอนที่อยู่ในถังผสม เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถังโดยจะมีการจัดวางท่อส่งและรับน้ำเสียให้กระจายอย่างเหมาะสมซึ่งต้องคำนึงถึงรูปร่างของถัง และวิธีการกวนให้ เอื้ออำนวยต่อการทำงาน

4.3.2 กระบวนการตะกอนเร่งแบบไหลตามแนวยาว (Plug flow activated sludge process) หลักการทำงานของกระบวนการไหลตามแนวยาวจะประกอบด้วยถังเติมอากาศลักษณะแคบและยาว โดยน้ำเสียและตะกอนไหลกลับจะถูกส่งเข้าถังที่หัวถังด้านหนึ่งและน้ำตะกอนไหลออกที่ปลายถึงอีกด้านหนึ่ง การไหลของน้ำแบบนี้ในอุดมคติจะถือว่าเป็นการไหลแบบการแทนที่ตามความยาวของถังโดยไม่มีการผสมกันในแนวยาวตามทิศทางของการไหล แต่เนื่องจากจะต้องทำการเติมอากาศ จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการผสมกันในแนวยาวได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปมักใช้การเติมอากาศโดยการเป่าอากาศ ให้น้ำไหลเป็นรูปเกลียวสว่าน หรือถ้าใช้เครื่องกลเติมอากาศจะต้องแบ่งถังเติมอากาศเป็นถังเล็กๆ ไม่ต่ำกว่า 3 ถัง แล้วให้น้ำไหลผ่านแบบอนุกรม ถ้ายิ่งแบ่งถังออกมากเพียงใดก็จะมีลักษณะใกล้เคียงกันกับการไหลตามแนวยาวมากขึ้นเท่านั้น

4.3.3 กระบวนการตะกอนเร่งแบบไหลเป็นวงจร (Circuit flow activated sludge process) แบบแผนของกระบวนการตะกอนเร่งแบบไหลเป็นวงจร ประกอบด้วยถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ซึ่งทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาวของถัง การเติมอากาศและการกวนจะใช้เครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งตีน้ำในแนวนอน การไหลของน้ำในถังแบบนี้มีลักษณะเฉพาะคือเป็นได้ทั้ง แบบไหลตามแนวยาว และแบบกวนสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาที่พิจารณา

4.3.4 กระบวนการตะกอนเร่งแบบนำตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่ (Activated sludge with sludge reaeration) กระบวนการตะกอนเร่งนำตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่นี้มีลักษณะแตกต่างจากทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาในตอนต้น ซึ่งเป็นการเน้นในเรื่องการเติมอากาศและการกวน สำหรับกระบวนการแบบที่ 4 นี้จะเป็นการจัดรูปแบบเกี่ยวกับกรรมวิธีในการไหลของน้ำเสียและตะกอนไหลกลับโดยจะนำตะกอนไหลกลับมาเติมอากาศใหม่ เพื่อให้เกิดเป็นช่วงย่อยสลายสารอินทรีย์ให้หมดเสียก่อนจากนั้นจึงส่งตะกอนจุลชีพส่วนนี้ไปสัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาใหม่เพื่อลดมวลสาร

4.3.5 กระบวนการตะกอนเร่งแบบเติมเข้า–ถ่ายออก (Fill and Draw activated sludge process) สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและน้ำเสียไหลเป็นบางช่วง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะมีน้ำเสียไหลเพียง 4-8 ชั่วโมงต่อวัน การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง จำเป็นจะต้องมีบ่อเก็บกักน้ำเสียขนาดใหญ่ เพื่อเก็บน้ำเสียในช่วงที่มีปริมาณการไหลสูง

แล้วค่อยๆ สูบเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งยังต้องติดเครื่องเติมอากาศในบ่อเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำเสียเน่าเหม็น

สรุปได้ว่า การจัดรูปแบบถังเติมอากาศเป็นกระบวนการโดยใช้ลักษณะทางกายภาพสำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทำให้น้ำเสียมีการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ ส่งผลให้ตะกอนจุลชีพสัมผัสกับน้ำเสียเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อลดมวลสาร

5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำ หมายถึง การเก็บตัวอย่างน้ำที่ถูกวิธีในปริมาณที่เหมาะสมต่อการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งนี้ต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากวิธีเก็บ และการขนส่งอีกทั้งสามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีของแหล่งน้ำนั้น (กรมอนามัย. 2537: 35)

5.1 เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ

เครื่องมือ/อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำอาจทำด้วยพลาสติก เหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก เครื่องมือที่ใช้ควรทำด้วยพลาสติกและมีส่วนประกอบของโลหะน้อยที่สุด ส่วนที่สัมผัสน้ำโดยตรงก็ไม่ควรเป็นโลหะ กระบอกเก็บตัวอย่างและน้ำหนักถ่วงควรหุ้มด้วยพลาสติก สายที่ใช้หย่อนเครื่องมือดังกล่าวควรทำจากพลาสติกหรือลวดที่เคลือบด้วยพลาสติก (กรมอนามัย. 2537: 24)

5.2 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ

5.2.1 วัสดุที่ใช้บรรจุตัวอย่างน้ำควรเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด-ด่าง และมลพิษในตัวอย่างน้ำมีความแข็งแรงทนทาน ไม่เปราะหรือแตกง่าย สามารถล้างทำความสะอาดได้ง่าย มีฝาปิดสนิท โดยทั่วไปนิยมใช้ขวดแก้วหรือพลาสติกอย่างดีที่แข็งและทนความร้อน เช่น โพลีเอทธิลีน โพลีโพรไพลีน แต่วัสดุที่ดีที่สุดคือควอทซ์ หรือเทฟลอน แต่ราคาแพง

5.2.2 รูปร่าง และขนาด ควรจะมีขนาดพอเหมาะที่จะบรรจุตัวอย่างน้ำได้เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ไม่ใหญ่เกินไปที่จะถือหรือตักได้สะดวก และควรเป็นรูปทรงที่ไม่มีซอกมุมที่ทำความสะอาดยาก

5.2.3 สี โดยทั่วไปควรใช้วัสดุที่ไม่มี สีนอกจากในกรณีที่ต้องการสีเข้มเพื่อป้องกันตัวอย่างน้ำถูกแสงแดดนิยมใช้พลาสติกขาวขุ่นหรือขวดแก้วสีชา (กรมอนามัย. 2537: 25)

5.3 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

การที่จะเก็บตัวอย่างน้ำจำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำทั้งหมดได้แบ่งวิธีเก็บน้ำเป็น 2 วิธีคือ

5.3.1 การเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเอาโดยตรงแล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบ ดังนั้น ตัวอย่างน้ำจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติของน้ำ ณ จุดเก็บเฉพาะเวลานั้นเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้มีข้อดีในกรณีที่น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่องมีการปล่อยทิ้งเป็นครั้งคราว

5.3.2 การเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างหลายๆ ครั้งต่อช่วงการผลิตโดยแบ่งแต่ละช่วงระยะเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณการเก็บขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำแล้วนำมารวมลงในถังเก็บใบเดียวกัน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 10 องศาเซลเซียส การเก็บวิธีนี้มีข้อดีตรงที่ลดจำนวนตัวอย่างน้ำที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์ และเวลาในการศึกษาได้มาก แต่ถึงอย่างไรก็มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำนานกว่าวิธีแบบจ้วง ในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างสมบูรณ์ต้องเก็บทั้งแบบจ้วง และแบบผสมรวม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ. 2525: 7-8)

จากการแบ่งวิธีเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า การเก็บตัวอย่างน้ำต้องเลือกวิธีเก็บที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำทั้งหมดแบ่งออกเป็น การเก็บแบบจ้วงคือเลือกเก็บบริเวณที่ต้องการตัวอย่างโดยตรง และการเก็บแบบผสมรวมเป็นการเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างๆ ในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอกัน จากนั้นนำมารวมในภาชนะบรรจุเดียวกันเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบต่อไป

5.4 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 35) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำ ดังนี้

5.4.1 การวางแผนและความถี่ในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ

5.4.2 ตัวอย่างที่เก็บมาควรเก็บรักษาไว้ในที่ที่เหมาะสมและแยกตามประเภทการตรวจวิเคราะห์

5.4.3 ตัวอย่างที่เก็บควรมีปริมาณเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

5.4.4 ตัวอย่างที่เก็บต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรทั้งหมด

5.4.5 ในการเก็บตัวอย่างจะต้องระมัดระวังมิให้เกิดการปนเปื้อน

5.4.6 ตัวอย่างที่ได้ต้องรักษาคุณภาพให้เหมือนเดิมและต้องวิเคราะห์ทันที

5.4.7 ควรบ่งบอกรายละเอียดของตัวอย่าง โดยการปิดฉลากไว้ที่ข้างขวด

5.4.8 การเลือกจุดเก็บควรคำนึงถึงแหล่งน้ำ จุดที่นำน้ำมาใช้ การฆ่าเชื้อในน้ำ การเก็บและการจ่ายน้ำ ที่เก็บน้ำประจำบ้าน วิธีการนำน้ำมาใช้ เป็นต้น

จากขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มจากวางแผนในการเก็บเพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของน้ำทั้งหมด มีปริมาณเพียงพอต่อการตรวจวัด ระมัดระวังไม่ให้เกิดการ

ปนเปื้อนควรศึกษาว่าค่าพารามิเตอร์ใดที่ต้องทำการตรวจวัดทันทีในสถานที่เก็บตัวอย่างเพื่อให้ผลที่ได้จากการตรวจวัดมีความถูกต้องมากที่สุด

5.5 ประเภทของตัวอย่างน้ำ

การเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำที่ต้องการจะศึกษาหรือวิเคราะห์ สามารถแยกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

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

5.5.2 ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสอิท (Composite samples) หมายถึงส่วนผสมของตัวอย่างแยกที่ทำการเก็บ ณ จุดเดียวกัน แต่ต่างเวลากัน มีประโยชน์สำหรับการใช้กับงานที่ต้องการทราบความเข้มข้นเฉลี่ย ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบบางอย่างของน้ำ เช่น ก๊าซที่ละลายในน้ำ คลอรีนตกค้าง อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างไว้จึงไม่เหมาะที่จะใช้ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสอิท ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสอิทใช้เฉพาะการหาค่าส่วนประกอบที่ทราบได้แน่นอนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะของการเก็บและการรักษาตัวอย่างเท่านั้น

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

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การเลือกวิธีเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งต้องคำนึงถึงเสมอว่าตัวอย่างน้ำนั้นต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรน้ำทั้งหมด

5.6 ช่วงระยะเวลาระหว่างการเก็บวิเคราะห์

ช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่าง สารที่จะวิเคราะห์และวิธีการในการเก็บรักษาเมื่อเก็บตัวอย่างน้ำมาแล้วควรทำการวิเคราะห์ให้เร็วที่สุดเพราะยิ่งทิ้งไว้นานส่วนประกอบของตัวอย่างน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลชีพในน้ำ ความผิดพลาดข้อนี้อาจลดให้น้อยลงได้โดยเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในที่มืดและอุณหภูมิต่ำประมาณ 4 องศาเซลเซียส จนถึงเวลาที่จะวิเคราะห์ ระยะเวลาที่ยอมให้มากที่สุดที่จะเก็บตัวอย่างไว้ก่อนทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีเป็นดังนี้

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

ถ้าช่วงเวลานานพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นหรือสภาพทางกายภาพของส่วนประกอบที่จะทำการวิเคราะห์

สรุปได้ว่า ช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำควรทำให้เร็วที่สุดเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของน้ำ เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

5.7 วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษา

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

สรุปได้ว่า วิธีที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำต้องสามารถลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารเคมีและสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ สามารถทำได้โดยการเติมสารเคมี เก็บในที่อุณหภูมิต่ำ และไม่มีแสงแดด

5.8 ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 30) กล่าวว่า ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำ มีดังนี้

5.8.1 ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำควรทำด้วยพลาสติกเพราะขนส่งสะดวก ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นในน้ำ ข้อสำคัญต้องล้างให้สะอาดก่อนใช้ คือล้างด้วยกรดโครมิค น้ำประปา และน้ำกลั่นตามลำดับก่อนทำการเก็บให้ล้างด้วยน้ำตัวอย่างที่จะเก็บก่อนสัก 2-3 ครั้ง

5.8.2 เขียนฉลากติดที่ขวดตัวอย่างให้เรียบร้อยก่อน บอกชื่อผู้เก็บ เวลา สถานที่ วันที่เก็บ อุณหภูมิของน้ำ ชนิดของสารช่วยรักษา

5.8.3 ควรวัดอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง แก๊สที่ละลายน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนทันทีที่เก็บเพราะค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

5.8.4 บางกรณีการเก็บตัวอย่างไว้มีผลต่อการวิเคราะห์มาก เช่น ไอออนบวกบางตัวจะสูญหายไปโดยการดูดซับ (Absorbtion) หรือโดยการแลกเปลี่ยนอิออน (Ion exchange) กับผิวของภาชนะที่ทำด้วยแก้ว ไอออนบวกเหล่านั้นได้แก่ Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ag และ Zn จึงควรทำการเก็บแยกต่างหากโดยใช้ขวดที่สะอาดและทำให้เป็นกรดด้วยกรดเกลือเข้มข้นหรือกรดดินประสิวเข้มข้นจนความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2 เพื่อลดการตกตะกอน และการดูดซับบนผิวภาชนะ

5.8.5 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากทุกๆ จุดที่ปล่อยน้ำออกมาหรือจุดที่รวมของน้ำทิ้ง

5.8.6 น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากท่อระบายน้ำโสโครก

5.8.7 น้ำทิ้งจากระบบกำจัดน้ำเสียให้เก็บจากจุดต่างๆ ตามขั้นตอน

5.8.8 น้ำประปาให้ไขทิ้งสักครู่ก่อนเก็บ

5.8.9 น้ำบ่อควรเก็บภายหลังจากบ่อนั้นถูกดูดน้ำขึ้นระยะหนึ่งแล้ว

5.8.10 แม่น้ำ และลำธารควรเก็บน้ำจากผิวถึงก้นแม่น้ำตรงใจกลางแม่น้ำแล้วเอามารวมกันเป็นตัวอย่างรวมแบบอินทิเกรท ถ้าจะเก็บเป็นตัวแยกให้เก็บจากใจกลางแม่น้ำที่จุดกึ่งกลางของความลึกจึงนับว่าเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุด

5.8.11 น้ำในทะเลสาบ มักมีการแปรผันในคุณภาพทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน แต่ในสภาพทั่วๆ ไปแล้วเราไม่สนใจค่ารวมหรือเฉลี่ยของสภาพเหล่านี้ สนใจแต่การเปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดเท่านั้น ดังนั้นจึงควรใช้ตัวอย่างแยกมากกว่า

จากข้อปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำสรุปได้ว่า ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการเก็บตัวอย่างน้ำควรคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการเก็บซึ่งตัวอย่างควรเป็นพลาสติกซึ่งจะไม่เกิดปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บวิเคราะห์ โดยเขียนรายละเอียดบนฉลากติดให้เรียบร้อย ควรศึกษารายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดอย่างละเอียดซึ่งค่าแต่ละค่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้เมื่อผ่านไปในระยะเวลาต่างๆ

5.9 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 31) กล่าวว่า ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้นหากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ทันทีแล้ว ส่วนประกอบของตัวอย่างน้ำจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ มลพิษหลายชนิดที่ไม่คงตัวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น แบคทีเรีย ความเป็นกรด-ด่าง สารประกอบไนโตรเจน สารอินทรีย์ และอื่นๆ เป็นต้น จึงได้มีการศึกษาวิธีการถนอมน้ำหรือรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเพื่อลดหรือหยุดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง จำแนกได้ดังนี้

5.9.1 การแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสหรือแช่แข็ง เช่น การตรวจหาปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น ข้อดีของวิธีการนี้คือไม่มีสารรบกวนในการวิเคราะห์ผลของการแช่เย็น คือ

5.9.1.1 ลดการทำงานของพวกจุลินทรีย์

5.9.1.2 ลดอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการทางกายภาพ และเคมี

5.9.2 การเติมสารเคมี

5.9.2.1 เติมไบโอไซด์ (Biocides) เพื่อยับยั้งการทำงานของพวกจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ เช่น ปรอทคลอไรด์ ($HgCl_2$) เติมในปริมาณ 20-40 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.9.2.2 เติมกรด เช่น กรดไนตริก (HNO_3), กรดซัลฟิวลิก (H_2SO_4) เป็นการรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำโดยการควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้น้อยกว่า 2 เพื่อป้องกันการดูดซับไอออนที่ผิวภาชนะบรรจุและการตกตะกอน และยับยั้งการทำงานของพวกจุลินทรีย์

5.9.2.3 สารเคมีเฉพาะข้อมูล สารเคมีอื่นๆ

สรุปได้ว่า หลักการโดยทั่วไปของการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อป้องกัน และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในช่วงเวลาหลังการเก็บและก่อนการตรวจวิเคราห์ เป็นต้นว่า การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง การเติมสารเคมี การแช่เย็น และการแช่แข็ง

5.10 การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ

การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุ สามารถกระทำได้ ดังนี้

5.10.1 เพื่อมิให้เกิดความสับสนให้ปิดฉลากที่ภาชนะบรรจุเสมอ แม้จะเก็บเพียงตัวอย่างเดียว

5.10.2 การเขียนรายละเอียดบนฉลากต้องใช้ปากกาลูกลื่นที่หมึกไม่ละลายน้ำ ไม่ควรใช้ดินสอหรือปากกาหมึกซึม

5.10.3 ฉลากควรมีรายละเอียด ดังนี้

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

5.10.4 กระดาษที่ใช้เขียน (ฉลากที่ปิดภาชนะบรรจุ) ไม่ควรเปื่อยยุ่ยเมื่อถูกน้ำ

5.10.5 ควรปิดฉลากบนขวดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเก็บน้ำ

สรุปได้ว่า การปิดฉลากบนภาชนะบรรจุเพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นกับตัวอย่างน้ำ จึงควรกรอกรายละเอียดในฉลากให้ครบถ้วนตามประเภทของแหล่งน้ำที่เก็บ

5.11 วิธีส่งตัวอย่างน้ำ

กรมอนามัย (2537: 40) กล่าวว่า วิธีในการส่งน้ำตัวอย่างสามารถกระทำได้ดังนี้

5.11.1 บรรจุตัวอย่างน้ำทั้งหมดลงในหีบแช่น้ำแข็งพร้อมใบตัวอย่าง หรือตัวอย่างที่ไม่ต้องแช่เย็นก็ให้บรรจุลงในลังหรือหีบ

5.11.2 ปิดผนึกหีบห่อให้หนาแน่นและปิดใบปะหน้าที่มีรายละเอียดแจ้งว่าส่งให้ผู้ใด และให้หน่วยงานใด

จากวิธีในการส่งน้ำตัวอย่างสรุปได้ว่า วิธีส่งตัวอย่างน้ำควรบรรจุในลังหรือสิ่งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้แล้วปิดให้มิดชิด ปิดใบปะหน้าที่มีรายละเอียดแจ้งว่าส่งให้ผู้ใดและให้หน่วยงานใด

6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ตรวจวัด

6.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่สิ่งมีชีวิตในน้ำอาจถึงตายได้ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไปและยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียล (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 21)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดอุณหภูมิ ด้วยวิธีตรวจวัดพีเอชมิเตอร์ (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

6.2 ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน [H^+] ในน้ำ โดยการคำนวณจากสูตร

$$pH = - \text{Log } [H^+]$$

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

ในทางปฏิบัติ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสีย น้ำเสียที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่า pH มากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่า pH เท่ากับ 7 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และคณะ. 2525: 36)

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

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยวิธีตรวจวัดด้วยพีเอชมิเตอร์ (สนอง ทองปาน. 2540: 86)

6.3 ดีโอ

ดีโอ เป็นค่าที่แสดงปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำเป็นลักษณะที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ตลอดจนใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำ

การหาค่าออกซิเจนละลายในน้ำสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การวัดโดยใช้เครื่องดีโอมิเตอร์ (DO meter) หรือออกซิเจนมิเตอร์ (oxygen meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถ วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรได้โดยตรง หรือ ใช้วิธีทางเคมี เช่น วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก (Azide modification of Iodometric method) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำที่สกปรก เช่น น้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540: 61)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก (Azide modification of Iodometric method) (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 77)

6.4 บีโอดี

บีโอดี เป็นปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเป็นค่าที่ใช้บอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวะได้ กรณีนำมาใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องระวังเพราะอาจมีสารบางชนิดที่สามารถยับยั้งการทดลองได้ เช่น สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย แม้ว่าค่าบีโอดีจะสามารถตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่การใช้ค่านี้ในการติดตามตรวจสอบการทำงานของระบบได้ไม่ดีเนื่องจากต้องใช้เวลาถึง 5 วัน ตามปกติจะต้องใช้เวลา 20 วัน เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งสามารถย่อยได้ร้อยละ 95-99 เป็นผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะย่อยสลายได้ร้อยละ 75-80 ของค่าบีโอดีทั้งหมด (อาจหาญ กันนุลา. 2545: 10; อ้างอิงจาก บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน. 2528: 176-182)

วิธีการตรวจวัดค่าบีโอดีสามารถทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน ตั้งแต่การเตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง วิธีการเจือจาง การทำแบลงค์ (Blank) เพื่อเปรียบเทียบให้ทราบว่าค่าบีโอดีที่หาได้มีความเชื่อถือได้แค่ไหน หลักการของวิธีตรวจวัดแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ คือ

6.4.1 การตรวจวัดโดยตรง (Direct method) ได้แก่ การนำน้ำเสียมาตรวจวัดตามขั้นตอนโดยตรงไม่ทำการเจือจาง โดยทั่วไปใช้กับน้ำที่พิจารณาแล้วเห็นว่ามีความสกปรกน้อย

6.4.2 การตรวจวัดโดยการเจือจาง (Dilution method) เป็นวิธีที่ต้องเตรียมน้ำสำหรับการเจือจางเพื่อทำการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนที่จะทำการตรวจวัดตามขั้นตอน เนื่องจากน้ำมีความสกปรกสูงหากไม่ทำการเจือจางลงปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำจะไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดค่าที่แท้จริงได้ (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: www.wma.or.th)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าบีโอดีด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide modification method) คือวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 81-86)

6.5 ซีโอดี

ซีโอดี เป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ค่าซีโอดี สูงกว่าค่าบีโอดีและสูงมากเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีววิทยา ดังนั้น ข้อเสียของค่าซีโอดีคือไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีววิทยาและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีววิทยาได้ส่วนข้อดี คือใช้เวลาวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง ความสำคัญและประโยชน์ของค่าซีโอดี คือใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการควบคุมระบบบำบัดเนื่องจากการวิเคราะห์ซีโอดี ใช้เวลาสั้นสามารถนำมาปรับปรุงกระบวนการได้ในระยะเวลาอันสั้น (อาจหาญ กันนุลา. 2545: 10; อ้างอิงจาก บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน. 2528: 176-182)

วิธีการตรวจวัดค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยดูดน้ำตัวอย่างใส่ในหลอดแก้วเพาะเชื้อ (Culture tube) จากนั้นเติมโปตัสเซียมไดโครเมต และตามด้วยกรดซัลฟิวริคปิดฝาหลอดให้แน่นแล้วเขย่าให้สารผสมกันให้ดี วางหลอดแก้วในบล็อคแล้วทำการอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเทสารละลายออกจากหลอดลงในขวดรูปกรวยแล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย หยดเฟอร์โรอีนอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) ทำการไตเตรตด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตมาตรฐานจนถึงจุดยุติจดปริมาตรไว้ ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างแล้วทำตามวิธีเดียวกัน

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าซีโอดีด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาแบบปิด (Closed reflux) (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 78-80)

6.6 น้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมัน สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้ง จนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น สารประกอบเหล่านี้เมื่อปนกับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: ออนไลน์)

วิธีการตรวจวัดค่าน้ำมันและไขมันสามารถทำได้โดยปรับสภาพของเหลวที่เป็นกรดเพื่อให้ไขมันแตกตัวจากน้ำและทำให้แยกจากน้ำโดยการกรองโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายจากนั้นจึงนำเฮกเซนที่มีน้ำมันและไขมันละลายอยู่ไประเหยจนแห้ง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่เหลือซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำมันและไขมันในตัวอย่าง

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าไขมันและน้ำมันด้วยวิธีวิธีการสกัดไขมันและน้ำมันด้วยกรวยแยก (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538: 133-134)

6.7 ของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอย เป็นสารแขวนลอยในของเหลวซึ่งมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย และเป็นค่าหนึ่งที่บอกถึงความสกปรกในน้ำเสียตลอดจนบอกถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ การหาค่าของแข็งแขวนลอยจึงมีความสำคัญเท่ากับค่าบีโอดี (องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540: ออนไลน์)

วิธีการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยสามารถทำได้โดยเตรียมกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน วางแผ่นกระดาษกรองบนถ้วยกรอง เปิดเครื่องดูดสุญญากาศและล้างแผ่นกระดาษกรองติดต่อกัน 3 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบแห้งและชั่งน้ำหนัก (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยด้วยวิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน

7.1 สาระสำคัญของหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544

หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 จัดทำขึ้นโดยมุ่งสนองตอบหลักการสำคัญของการจัดการศึกษาตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติพุทธศักราช 2542 เพื่อเป็นหลัก ในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์เป็นเข็มทิศชี้นำในการพัฒนาสังคมไทยได้อย่างยั่งยืน และนำพาประเทศชาติไปสู่ความเจริญรุ่งเรืองในอนาคตต่อไป ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ คณะอนุกรรมการการปฏิรูปการเรียนรู้ (2543: 7-11) มีสาระสำคัญคือ พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ

พุทธศักราช 2542 บังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2542 มีผลให้เกิดการปฏิรูปการศึกษามีสาระทั้งสิ้น 9 หมวด โดยเฉพาะหมวดที่ 4 คือ แนวการจัดการศึกษา โดยในหมวดนี้ครอบคุมหลักการ สาระและกระบวนการจัดการศึกษา สาระที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ มีรายละเอียดตามมาตราที่ 22, 23, 24 และ 26 สรุปได้ว่าการจัดการศึกษายึดหลักว่าผู้เรียนทุกคน มีความสามารถเรียนรู้พัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์จริงฝึกการปฏิบัติให้ทำดีได้ คิดเป็น ทำเป็น ให้ผู้เรียน เกิดการเรียนรู้จากสื่อ และแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย พ่อแม่ ผู้ปกครอง และชุมชนมีส่วนร่วม ในการจัดการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นได้ทุกเวลา ทุกสถานที่ โดยมุ่งหวังที่จะได้เห็นคนไทย ที่พึงประสงค์ เป็นทั้งคนดี คนเก่งและมีความสุข ซึ่งสอดคล้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ด้วยบทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทั้งด้านความรู้ และมีทักษะ ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. 2543: 9-10)

หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 มีส่วนเกี่ยวข้องที่สำคัญ ได้แก่ หลักการ จุดมุ่งหมาย รวมถึงโครงสร้างของหลักสูตร (กรมวิชาการ. 2543: 4–1)

จากหลักการ จุดมุ่งหมาย และโครงสร้างของหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 สรุปได้ว่าหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาคนไทยให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ เป็นคนดี มีปัญญา มีความสุขและมีความเป็นไทย และมีความรู้อันเป็นสากลรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงและความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการ มีทักษะกระบวนการโดยเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์ มีศักยภาพในการสื่อสารและการใช้เทคโนโลยี ปรับวิธีการคิดวิธีการทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ เป็นการจัดการศึกษาเพื่อปวงชนส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต

7.2 การจัดการเรียนรู้สาระสิ่งแวดล้อม

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2526: 3-37) ได้จัดทำหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ที่เป็นองค์ความรู้ของกลุ่ม สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้ที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม เป็นสาระที่ผู้วิจัยเลือกศึกษาทำการวิจัย

โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ได้ปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 คือมีการจัดทำหลักสูตรเป็นของตนเอง ได้แก่ หลักสูตรสถานศึกษาซึ่งประกอบด้วยการเรียนรู้ทั้งมวลและประสบการณ์อื่นๆ ที่วางแผนเพื่อมุ่งผลิตนักเรียนให้เป็นเลิศทางวิชาการและเทคโนโลยีเป็นคนดี มีคุณธรรม ดำรงชีวิตกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดี และมีความสุขพร้อมที่จะช่วยพัฒนาสังคม และ

ประเทศชาติ ซึ่งใช้มาตั้งแต่ พ.ศ. 2544 และจะมีการปรับปรุงแก้ไขทุกๆ ระยะเวลา 5 ปี เพื่อสนองต่อความต้องการของผู้เรียน ชุมชน และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม

ผลการใช้หลักสูตรสถานศึกษา ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ในสาระการเรียนรู้ทางสิ่งแวดล้อม พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวน ทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่พึงประสงค์เพราะไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด และจากการศึกษาจากอาจารย์ผู้สอนประจำรายวิชาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่านักเรียนขาดความสนใจ ขาดกระบวนการฝึกปฏิบัติ และขาดจิตสำนึกทางสิ่งแวดล้อม ไม่สัมพันธ์กับเวลา เป็นเนื้อหาเดิมๆ ที่ขาดความน่าสนใจ และเมื่อสอบถามนักเรียน พบว่า เกิดความเบื่อหน่ายต่อการเรียน เพราะนักเรียนเป็นผู้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว ขาดการมีส่วนร่วมทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของหลักสูตรสถานศึกษา

8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

8.1 ความหมายและหลักการของบทปฏิบัติการ

เอกสารที่เกี่ยวกับบทปฏิบัติการ ได้มีนักวิชาการด้านการเรียนการสอนกล่าวถึงความหมายไว้คล้ายคลึงกันมากมายเช่น

ปฏิบัติการ ตามความหมายในพจนานุกรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2525. (2538: 494) หมายถึง การทดลอง พิสูจน์ข้อเท็จจริงตามทฤษฎี แต่ยังไม่เคยมีผู้ใดให้คำนิยามเกี่ยวกับบทปฏิบัติการวิทยาศาตร์ ส่วนใหญ่มักจะให้ความหมายในลักษณะของวิธีสอนวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541: 68) และอรอุมา ละมุล (2541: 14) ได้ให้ความหมายการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คือ การสอน หรือกิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จัดเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการอันเป็นหัวใจวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะได้มีโอกาสปฏิบัติการร่วมกันภายใต้การแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด โดยทำการทดลองปฏิบัติการฝึกการใช้ทฤษฎีโดยผ่านการทดลอง

พรยมล บัวคีรี (2546: 44) และสมเกียรติ แก้วจำรัสสุขสันติ (2544: 25) บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง การสอนหรือชุดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ด้วยตนเอง ใช้เครื่องมือทดลองต่างๆ ด้วยตนเอง ได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีอิสระในการคิดภายใต้หลักเกณฑ์และคำแนะนำปรึกษาของครูอย่างใกล้ชิดจะทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางด้านต่างๆ มากขึ้น และยังเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับที่ได้ศึกษามา

สุนีย์ เหมะประสิทธิ์ (2543: 87-88) และภพ เลาหไพบูลย์ (2542: 167-168) ได้ให้ความหมายการสอนแบบทดลอง (Experimental method) ว่าเป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลองและการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียนให้มีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบหรือการทดสอบสมมติฐานแล้วและเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เป็นการเน้นการหาแนวทางในการแก้ปัญหาหรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตนเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลาง ในการเรียนการสอน

จากเอกสารงานวิจัยดังกล่าว บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง กิจกรรมหรือชุดปฏิบัติการการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนให้มีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง โดยการลงมือปฏิบัติดำเนินการทดลองด้วยตนเอง เป็นการพิสูจน์หรือหาคำตอบที่นักเรียนสงสัย หรือคาดคะเน หรือตั้งสมมติฐานแล้ววางแผนการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน เพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้วและเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ภายใต้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดของผู้สอน

8.2 จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การสอนด้านบทปฏิบัติการนั้นมีความมุ่งหมายสำคัญหลายประการ ดังที่ พรยมล บัวคีรี (2546: 44) และ ชลิตา พันธ์ออน (2545: 41) ได้แสดงความคิดเกี่ยวกับจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไว้คล้ายคลึงกันดังต่อไปนี้

8.2.1 เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจความคิดแบบวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจในกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์

8.2.2 เพื่อปลูกฝังให้เกิดความสนใจ ความอยากรู้อยากเห็น ทักษะการสืบสอบ ความพึงพอใจ เจตคติ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาอื่นๆ ได้

8.2.3 เพื่อช่วยพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เกิดความรู้สึกซาบซึ้ง และเลียนแบบบทบาทของนักวิทยาศาสตร์

8.2.4 เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีและแบบจำลอง รวมทั้งเข้าใจต่อความมีระเบียบของความรู้ทางวิทยาศาสตร์

8.2.5 เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์และความสามารถทางสติปัญญา

8.2.6 เพื่อพัฒนาความสามารถทางการปฏิบัติการ

จากแนวคิดการสอนด้านบทปฏิบัติการมีความมุ่งหมาย สรุปได้ว่า การเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมพัฒนาและช่วยเหลือให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจความคิดแบบวิทยาศาสตร์ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ และเข้าใจธรรมชาติวิทยาศาสตร์ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์เข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีอยากรู้อยากเห็น มีความพึงพอใจและสามารถนำทักษะต่างๆ ไปใช้แก้ปัญหาได้จนมีทักษะกระบวนการและเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์

8.3 รูปแบบการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การสอนด้วยกิจกรรมวิทยาศาสตร์มีรูปแบบหลากหลายแตกต่างกันกล่าวคือ

วิมล สำราญวานิช (2532: 80-81); สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2527: 85-87); และสุวัฒก์ นิยมค้า (2517: 142-144) ได้กำหนดรูปแบบการจัดกิจกรรมการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็น 2 แบบ ดังนี้

8.3.1 การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured laboratory) เป็นการทดลองที่ครูกำหนดปัญหาไว้ก่อนบอกวิธีการแก้ปัญหาและอื่นๆ ไว้เสร็จ นักเรียนเพียงแต่ทำตามคำสั่งชี้แจงในคู่มือการทดลอง (Lab direction) ก็สามารถได้คำตอบจึงเป็นรูปแบบที่เก่าแก่เป็นการปฏิบัติการทดลองเพื่อพิสูจน์หลักการในบทเรียนที่ได้เรียนไปแล้ว

8.3.2 การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง (Unstructured laboratory works) เป็นการทดลองที่ให้นักเรียนค้นหาคำตอบเองโดยครูเป็นผู้กำหนดปัญหาให้นักเรียนทั้งชั้นร่วมกันอภิปรายวางแผนและกำหนดวิธีการแก้ปัญหา เมื่อได้แนวทางแล้วจึงให้นักเรียนแยกทำการทดลองแล้วนำผลที่ได้มาอธิบายหน้าชั้นอีกครั้งซึ่งถือเป็นการทดลอง ในแบบที่ส่งเสริมสมรรถภาพทางความคิดของนักเรียน เป็นรูปแบบที่อยู่บนพื้นฐานของการสืบสอบ เน้นให้นักเรียนได้ค้นและสืบสอบในหลักการที่วิเคราะห์วิจารณ์ในห้องเรียน นักเรียนมีการวางแผนการทดลองซึ่งประกอบด้วย การกำหนดปัญหา การตั้งสมมติฐานและสร้างแบบการทดลองตามลำดับแล้วจึงลงมือทดลองตามแบบที่กำหนดไว้ ซึ่งครูควรฝึกนักเรียนโดยเริ่มจากการทดลองแบบสำเร็จรูปก่อนแล้วค่อยๆ ลดการกำหนดแนวทางของครูจนนักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

นอกจากนี้ สุนีย์ เหมะประสิทธิ์ (2543: 87-88) ได้กำหนดชนิดของวิธีสอนแบบทดลองแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

8.3.1 วิธีสอนแบบทดลองตามบทปฏิบัติการหรือตามแบบฝึก (Laboratory approach or Cookbook experiment) โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนปฏิบัติตามใบงานการทดลอง (Lab sheet) ที่ครูจัดเตรียมไว้ให้เรียบร้อย โดยมุ่งหวังให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในข้อเท็จจริงหรือมโนมติและเน้นการตรวจสอบหลักการ กฎ และทฤษฎี

8.3.2 วิธีสอนแบบทดลองโดยมีการชี้แนะ (Guided experiment) มุ่งเน้นให้นักเรียนมีวิธีการในการคิด ทั้งด้านการเลือก กำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการทดลองและสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง

8.3.3 วิธีสอนแบบทดลองที่แท้จริง (Pure experiment) มุ่งเน้นให้นักเรียนมีวิธีการในการคิด ทั้งด้านการเลือก กำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐานการออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการทดลองและสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง

รูปแบบการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีความแตกต่างกันอยู่บ้างในรูปแบบกิจกรรม แต่ก็มีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งในด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ ครูจึงควรฝึกนักเรียนโดยเริ่มจากการทดลองแบบสำเร็จรูปก่อน เพื่อเป็นการฝึกทักษะปฏิบัติการให้กับนักเรียนแล้วค่อยๆ ลดการกำหนดแนวทางของครูจากการทดลองแบบสำเร็จรูป มาเป็นการชี้แนะ จนนักเรียนสามารถคิดสืบสอบและวางแผนการทดลองได้เองจนสามารถแก้ปัญหาและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

8.4 ความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ในด้านความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีนักการศึกษาได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความสำคัญของกิจกรรมปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

ชลิตา พันธ์ออน (2545: 42 อ้าง Anderson.1976: 59-60) ได้สรุปความสำคัญของกิจกรรมปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า กิจกรรมปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เปิดโอกาสให้มีการเรียนรู้วิธีการคิดอย่างมีหลักเกณฑ์เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ช่วยให้เกิดความรู้สึกซาบซึ้งต่อบทบาทของนักวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าหาความรู้ และเข้าใจถึงขอบข่ายของวิชาวิทยาศาสตร์

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2524: 95-96) สรุปความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

8.4.1 ความสำคัญในแง่ของการศึกษา การสอนแบบฝึกปฏิบัติทำให้การศึกษาเป็นการศึกษาที่สมบูรณ์ ผสมผสานกันระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติ เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนเรียนจากของจริงและลงมือทำด้วยตนเอง ผู้เรียนจะรู้ว่าสิ่งที่เรียนเป็นอย่างไร มีปัญหาอะไร บางครั้งจะแก้ปัญหาด้วยตนเองพร้อมกันไปแล้วแต่รูปแบบของการฝึกปฏิบัติ ถือเป็นการให้ประสบการณ์ตรงกับผู้เรียน

8.4.2 ความสำคัญในแง่ของผู้เรียนผู้สอน การสอนแบบฝึกปฏิบัติช่วยให้ผู้เรียนได้ดีมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ในแง่การนำไปใช้ ในขณะผู้สอนมีโอกาสเห็นผลการสอนของตนในทันทีว่าหลังการสอนผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้หรือไม่ แล้วทั้งผู้เรียนและผู้สอนยังมีโอกาสได้ติชมในทันที ซึ่งจะส่งผลให้การเรียนรู้ดีขึ้นด้วย

กล่าวสรุปได้ว่าการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีสาระสำคัญและคุณค่าต่างๆ ทั้งในแง่ผู้เรียน คือช่วยให้ผู้เรียนได้ดี มีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ในแง่การนำไปใช้ และผู้สอนที่มีโอกาสเห็นผลการสอนว่าหลังการสอนผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้หรือไม่ รวมถึงความสำคัญในแง่ของการศึกษา ที่ทำให้เป็นการศึกษาที่สมบูรณ์ ผสมผสานกันระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติ จึงนับเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่สำคัญยิ่งต่อการศึกษาทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ บรรลุตามวัตถุประสงค์ได้อย่างดียิ่ง

8.5 ประโยชน์ของการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารด้านวิชาการของ ภพ เลาหไพบูลย์ (2542: 170-171); บุญชม ศรีสะอาด (2541: 69); สุเทพ อุตสาหะ (2526: 68); วิมล สำราญวานิช (2532: 85-86); และสุภาพ วาดเขียน (2523:10) สรุปประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการ ดังนี้

8.5.1 นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง และมีโอกาสฝึกทักษะในการทดลอง และใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

8.5.2 นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน และได้เรียนโดยผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรงและอาจศึกษากิจกรรม วิธีปฏิบัติจากสิ่งที่สามารถเรียนด้วยตนเองได้

8.5.3 เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เนื่องจากนักเรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลอง ทำการทดลองโดยได้สืบเสาะหาความรู้ วิเคราะห์หาเหตุผล ทดสอบสมมติฐานสรุปผล และวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง

8.5.4 นักเรียนเพิ่มพูนความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีทักษะมากขึ้น

8.5.5 นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน

8.5.6 การจัดการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการอาจดำเนินการโดยผู้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มเล็กๆ ได้ เป็นการฝึกการทำงานร่วมกันแบบประชาธิปไตย

8.5.7 เป็นการเตรียมนักเรียนแต่ละคนให้มีโอกาสแสดงความคิดเห็นในการแก้ปัญหา รวมทั้งเป็นการฝึกการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

8.5.8. ทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

สอนแบบการทดลอง ทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การใช้เครื่องมือ ได้ฝึกการแก้ไขปัญหาตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมความสนใจใฝ่รู้ทางวิทยาศาสตร์และความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเสริมสร้างเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

ลักษณะและรูปแบบของบทปฏิบัติการที่นำเสนอมาข้างต้น เป็นการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หรือการสอนแบบทดลองเป็นการสร้างองค์ความรู้จากสิ่งที่เป็นรูปธรรม ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อนักเรียนซึ่งได้รับประสบการณ์ตรง เนื่องจากเป็นการศึกษาสำรวจภาคสนามและอภิปรายหลังปฏิบัติการจึงมีโอกาสฝึกทักษะ ใช้ประสาทสัมผัส ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รู้จักการแก้ปัญหา มีการทำงานร่วมกัน มีความน่าสนใจ การเรียนรู้ที่สนุก ง่าย ตื่นเต้นและเมื่อเรียนจากบทปฏิบัติการนักเรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการ

วิทยาศาสตร์ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย 5 บทปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยการทดลองที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง รู้จักเชื่อมโยงความรู้ที่ได้ศึกษาจากการทำการทดลองกับการศึกษาค้นคว้าในเรื่องใหม่ๆ เป็นการฝึกทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เกิดความรู้เกี่ยวกับ กฎ หลักการและทฤษฎีต่างๆ ในเรื่องการบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนมีเจตคติที่ดีต่อทรัพยากรน้ำ

9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

9.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คุณลักษณะรวมถึงความรู้ ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอนหรือประมวลประสบการณ์ทั้งปวงที่บุคคลได้รับจากการเรียนการสอนทำให้บุคคลเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในด้านต่างๆ 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 วิหคไพบูย์. 2543: 28)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้จากการใช้สมองของผู้เรียนเป็นกลไกในการเรียนรู้ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมด้านความรู้ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

9.2 แนวทางในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ครูกำหนด ซึ่งสามารถวัดโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement test) สามารถแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ

9.2.1 ความรู้ (Knowledge) หมายถึง ความสามารถระลึกหรือจดจำแนวทางหรือข้อความจริงต่างๆ หรือเรื่องราวประสบการณ์ที่ผ่านมา

9.2.2 ความเข้าใจ (Comprehension) หมายถึง การมีความเข้าใจในความรู้ที่เรียนโดยสามารถอธิบายถ้อยคำของตนเองหรืออาจสามารถแปลความหมาย ตีความ และขยายความหมายของเรื่องได้

9.2.3 การนำไปใช้ (Application) หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้หรือหลักวิชาการที่เรียนมาแล้ว ในการสร้างสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน

9.2.4 การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะเรื่องราวต่างๆ หรือวัตถุสิ่งของเพื่อต้องการค้นหาสาเหตุเบื้องต้น หาความสัมพันธ์ระหว่างใจความระหว่างตอนตลอดจนหลักการที่แฝงอยู่ในเนื้อเรื่อง

9.2.5 การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง ความสามารถที่รวบรวมสิ่งที่เรียนรู้หรือประสบการณ์มาจัดระบบใหม่เป็นเรื่องใหม่ที่ไม่เหมือนเดิม มีความหมายและประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

9.2.6 การประเมินผล (Evaluation) หมายถึง ความสามารถที่จะใช้ความรู้ที่เรียนมาในการตัดสินวินิจฉัยคุณค่าของบุคคล เรื่องราว วัสดุสิ่งของอย่างมีหลักเกณฑ์

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

9.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

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

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

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

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

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งตรวจสอบความรู้ ทักษะและสมรรถภาพด้านต่างๆ ที่เกิดจากการใช้สมองเป็นกลไกในการเรียนรู้ของนักเรียนที่ผ่านมาในอดีตมีความรู้ความสามารถมากน้อยเพียงใด

9.4 ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

9.4.1 แบบทดสอบของครู หมายถึง ชุดของคำถามที่ครูเป็นผู้สร้างขึ้นซึ่งเป็นข้อความที่ถามเกี่ยวกับความรู้ของนักเรียนในห้องเรียนว่านักเรียนมีความรู้มากน้อยเพียงใด บกพร่องส่วนไหน หรือเป็นการวัดดูความพร้อมที่จะเรียนบทเรียนใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของครู

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

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ทั้งแบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นและแบบทดสอบมาตรฐานมีความเหมือนกันที่เป็นข้อคำถามที่วัดเนื้อหาและพฤติกรรมที่ได้สอนไปแล้ว ซึ่งพฤติกรรมนั้นต้องสามารถตั้งคำถามวัดได้ แต่แตกต่างกันที่แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นไม่ได้ผ่านการทดสอบหาคุณภาพ คู่มือดำเนินการสอบและมาตรฐานในการแปลผลคะแนนที่เป็นมาตรฐานเหมือนกับแบบทดสอบมาตรฐาน

9.5 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

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

9.5.1 วิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตรเพื่อวิเคราะห์เนื้อหาสาระ และพฤติกรรมที่ต้องการวัด

9.5.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้สำหรับเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน และการสร้างข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์

9.5.3 กำหนดชนิดของข้อสอบและศึกษาวิธีการสร้างโดยการศึกษาจากตารางวิเคราะห์หลักสูตรและจุดประสงค์การเรียนรู้

9.4.4 เขียนข้อสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร และให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

9.5.5 ตรวจทานข้อสอบเพื่อให้ข้อสอบที่เขียนไว้มีความถูกต้องตามหลักวิชา มีความสมบูรณ์ครบถ้วนตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร

9.5.6 จัดพิมพ์ข้อสอบฉบับทดลองโดยมีคำชี้แจงหรือคำอธิบายวิธีตอบแบบทดสอบและจัดวางรูปแบบการพิมพ์ให้เหมาะสม

9.5.7 ทดสอบและวิเคราะห์ข้อสอบเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบก่อนนำไปใช้จริง โดยนำแบบทดสอบไปทดลองสอบกับกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกลุ่มที่ต้องการทดสอบจริง แล้วนำผลการสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงข้อสอบให้มีคุณภาพ

9.5.8 จัดทำแบบทดสอบฉบับจริงจากผลการวิเคราะห์ข้อสอบหากพบว่าข้อสอบใดคุณภาพไม่ดีพออาจจะต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงแก้ไขข้อสอบให้มีคุณภาพดีขึ้น แล้วจึงจัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับจริงที่จะนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป

จากขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสรุปได้ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เริ่มต้นจากการวิเคราะห์หลักสูตรและสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตร การกำหนดจุดประสงค์ ชนิดของข้อสอบ การเขียนข้อสอบ ตรวจทานข้อสอบ จัดพิมพ์ข้อสอบฉบับทดลอง ตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ และจัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อนำไปใช้ต่อไป

9.6 แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิชิต ฤทธิ์จำรูญ (2545: 100) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะมีคุณภาพนั้นจะต้องอาศัยหลักการสร้างที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

9.6.1 นิยามพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้ที่ต้องการวัดให้ชัดเจนโดยกำหนดในรูปของจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียนหรือรายวิชาด้วยคำที่เฉพาะเจาะจงสามารถวัดและสังเกตได้

9.6.2 ควรสร้างแบบทดสอบให้ครอบคลุมผลการเรียนรู้ที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมการเรียนรู้โดยจะต้องกำหนดตัวชี้วัด และขอบเขตของผลการเรียนรู้ที่จะวัดแล้วจึงเขียนข้อสอบตามตัวชี้วัดจากขอบเขตที่กำหนดไว้

9.6.3 แบบทดสอบที่สร้างขึ้นควรประกอบด้วยข้อสอบชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมสอดคล้องกับการวัดพฤติกรรมหรือผลการเรียนรู้

9.6.4 แบบทดสอบที่สร้างขึ้นจะต้องให้การตรวจคะแนนไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการวัดซึ่งไม่ว่าจะนำแบบทดสอบไปทดสอบกับผู้เรียนในเวลาที่แตกต่างกันจะต้องให้ผลการวัดเหมือนเดิม

สรุปได้ว่า แนวทางการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต้องมีการกำหนดพฤติกรรมที่ต้องการวัดอย่างชัดเจนในรูปของจุดประสงค์ที่สามารถวัดและสังเกตได้ ให้ผลการวัดที่เหมือนเดิมแม้ว่าจะทดสอบกับนักเรียนในเวลาแตกต่างกัน

9.7 การสร้างแบบทดสอบเลือกตอบ

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

9.7.1 แบบคำถามโดดหรือคำถามเดี่ยว (Single question) รูปแบบคำถามนี้เป็นแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ลักษณะของคำถามจะถามเฉพาะเรื่องใดเรื่องหนึ่งจบลงในตัวเองไม่เกี่ยวข้องกับข้ออื่นๆ

9.7.2 แบบตัวเลือกคงที่ (Constant question) รูปแบบคำถามนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือส่วนที่เป็นตัวเลือก และส่วนที่เป็นตัวคำถามเช่นเดียวกับรูปแบบคำถามเดี่ยวหรือคำถามโดดแต่จะต่างกันที่ตัวเลือกแบบคงที่จะเป็นตัวเลือกชุดเดียวกับของคำถามทั้งชุดนั้น โดยจะแยกอยู่ต่างหากจากตัวคำถาม การเขียนคำถามแบบนี้จะต้องเขียนคำชี้แจงของคำถามแต่ละชุดให้ชัดเจน โดยระบุว่าตัวเลือกชุดนี้ใช้เป็นคำตอบข้อใดบ้าง และจะใช้เกณฑ์ใดในการพิจารณา ซึ่งอาจเป็นความถูกต้อง ความสอดคล้องหรือข้อเท็จจริง

9.7.3 แบบกำหนดสถานการณ์ (Situation question) รูปแบบคำถามนี้เป็นแบบที่กำหนดสถานการณ์จำลองขึ้นซึ่งอาจอยู่ในรูปของข้อความหรือภาพ แล้วเขียนคำถามเกี่ยวกับข้อความหรือภาพที่กำหนดเป็นสถานการณ์นั้นโดยยึดหลักการว่าอย่าถามให้ตรงเรื่อง อย่าถามนอกเรื่อง แต่ควรถามให้เกี่ยวพันหรืออ้างอิงเรื่อง สภาพการณ์หรือพาดพิงเรื่องราวนั้น

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ ซึ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ด้าน คือ ด้านความรู้ ด้านความเข้าใจ ด้านการนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์ โดยใช้แบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

10. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

10.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

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

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรรมที่เกิดจากการปฏิบัติ และการฝึกฝนอย่างเป็นระบบ (ภพ เลาหะไพบูลย์. 2537: 14)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสืบเสาะหาความรู้โดยผ่านการปฏิบัติและการฝึกฝนความคิดอย่างเป็นระบบจนเกิดเป็นความชำนาญ (สุรพล วิหคไพบูลย์. 2543: 30)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยผ่านการปฏิบัติและการฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบจนเกิดเป็นความชำนาญ (พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. 2544: 25)

จากความหมายที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหา เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ครอบคลุมทักษะด้านการสังเกต การวัด การทดลอง และด้านการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ซึ่งได้จากการใช้แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก เป็นเครื่องมือวัดผล

10.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการการศึกษาวิทยาศาสตร์ของสมาคมอเมริกันเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ (Amreican association for thea advancemant of science) ได้แบ่งทักษะกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นคว้าว่ามี 13 ทักษะ ซึ่งทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (2526: 1-5) ได้นำมาจัดกระทำแนวการสอนให้ครูไทยโดยแบ่งทักษะทั้งหมดออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

10.2.1 ทักษะกระบวนการขั้นมูลฐาน (The basic process skills)

10.2.1.1 ทักษะการสังเกต หมายถึง การใช้ประสาทสัมผัสหลายอย่างในขณะเดียวกันหรือเพียงอย่างเดียว ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวกาย เพื่อใช้ในการสัมผัสเหตุการณ์หรือสัมผัสกับวัตถุโดยตรง การกระทำดังกล่าวเพื่อที่จะหารายละเอียดของสิ่งหรือเหตุการณ์นั้นโดยมีข้อเงื่อนไขว่าจะต้องไม่มีการใส่ความคิดเห็นของผู้สังเกตลงไป

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ ชี้บ่งและบรรยายสมบัติของวัตถุหรือรายละเอียดของเหตุการณ์โดยใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง บรรยายถึงสมบัติเชิงปริมาณอย่างคร่าวๆ โดยการกะประมาณ บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้

10.2.1.2 ทักษะการวัด หมายถึง การเลือกและการใช้เครื่องมือทำการวัดหาปริมาณสิ่งของสิ่งต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง และมีหน่วยของการวัดกำกับมาด้วย

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เลือกเครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด บอกเหตุผลในการเลือกเครื่องมือวัดได้ บอกวิธีจัดและใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง ทำการวัดความกว้าง ความยาว ความสูง อุณหภูมิ ปริมาตรได้ถูกต้อง ระบุหน่วยของตัวเลขได้กับสิ่งที่ทำการวัดได้

10.2.1.3 ทักษะการจำแนกประเภท หมายถึง การจัดแบ่งพวกหรือเรียงลำดับของวัตถุหรือจัดเรียงเหตุการณ์โดยการใช้ความเหมือนหรือความแตกต่าง

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เรียงลำดับเหตุการณ์หรือแบ่งพวกสิ่งของต่างๆ จากเกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดไว้ เรียงลำดับเหตุการณ์แบ่งพวกสิ่งของต่างๆ โดยใช้เกณฑ์ของตนเองได้ สามารถบอกเกณฑ์ที่ผู้อื่นใช้เรียงลำดับหรือแบ่งพวกได้

10.2.1.4 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับ 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 มิติเป็นอย่างไรรวมถึงดูภาพของเงาที่เกิดจากรูป 3 มิติ ว่าเป็นรูป 2 มิติ แบบใดและถ้าตัดรูป 3 มิติ ออกจากกันเป็น 2 ส่วน สามารถบอกได้ว่ารอยตัดแบบ 2 มิติ ของวัตถุนั้นเป็นแบบใด

10.2.1.5 ทักษะการคำนวณ หมายถึง การนับจำนวนของวัตถุ และการนำตัวเลขแสดงจำนวนที่นับได้มาทำการคิดคำนวณโดยการบวก ลบ คูณ หาร หรือหาค่าเฉลี่ย

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ นับจำนวนสิ่งของได้ถูกต้องใช้ตัวเลขแทนจำนวนที่นับได้ ตัดสินได้ว่าของในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากันหรือแตกต่างกัน สามารถบอกวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ แสดงวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้

10.2.1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล หมายถึง การนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลองและจากแหล่งอื่นๆ มาจัดทำในรูปแบบใหม่ๆ เช่น หาความถี่ เรียงลำดับ จัดแยกประเภทหรือคำนวณหาค่าใหม่เพื่อให้เกิดความเข้าใจกับข้อมูลชุดนั้นดีขึ้นโดยอาจเสนอในรูปแบบของตาราง แผนภูมิ แผนภาพ รูปวงจร กราฟ สมการ การเขียนบรรยาย ฯลฯ

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ เลือกรูปแบบที่จะใช้ในการเสนอข้อมูล บอกเหตุผลในการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการนำเสนอข้อมูลได้ ออกแบบการเสนอข้อมูลที่ตนเองเลือกได้ เปลี่ยนแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปใหม่ที่ทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น บรรยายลักษณะของบางสิ่งด้วยข้อความที่กะทัดรัดเหมาะสมจนผู้อื่นเข้าใจได้ วาดแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่จนสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจได้

10.2.1.7 ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล หมายถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลที่มีอยู่อย่างมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์ช่วยข้อมูลที่มีอาจได้จากการสังเกต การวัด หรือการทดลอง คำอธิบายนั้นเป็นสิ่งที่ได้จากความรู้หรือประสบการณ์เดิมของผู้สังเกตที่พยายามโยงบางส่วนของความรู้หรือประสบการณ์เดิมให้มาสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตนเองมีอยู่

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ สามารถอธิบายหรือสรุปเรื่องหนึ่งๆ โดยการเพิ่มความคิดเห็นให้กับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยอาศัยประสบการณ์ และความรู้เดิมช่วย

10.2.1.8 ทักษะการพยากรณ์ หมายถึง การสรุปคำตอบล่วงหน้าก่อนจะทดลองโดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ อาศัยหลักการ กฎ หรือทฤษฎีที่มีอยู่ในเรื่องนั้นมาช่วยในการสรุปการพยากรณ์ข้อมูลที่เกี่ยวกับตัวเลข ได้แก่ ข้อมูลที่เป็นตารางหรือกราฟสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การพยากรณ์ภายในขอบเขต และนอกขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ ทำนายผลที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่เป็นหลักการ กฎ ทฤษฎีที่มีอยู่ได้ ทำนายผลที่เกิดขึ้นของข้อมูลเชิงปริมาณทั้งภายในขอบเขตข้อมูลหรือภายนอกขอบเขตข้อมูลได้

10.2.2 ทักษะกระบวนการขั้นสูงหรือบูรณาการ (The integrated process skills)

10.2.2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน หมายถึง การคิดหาคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะทำการทดลองโดยอาศัยการสังเกตความรู้ ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐานคำตอบที่คิดหาล่วงหน้านี้ยังไม่ทราบหรือยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน สมมติฐานหรือคำตอบที่คิดไว้ล่วงหน้า มักจะกล่าวไว้เป็นข้อความที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับหรือตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งอาจจะถูกหรือผิดก็ได้ โดยจะทราบได้ภายหลังจากการทำการทดลองหาคำตอบเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ สามารถหาคำตอบล่วงหน้าก่อนทำการทดลองโดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิม

10.2.2.2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ หมายถึง การกำหนดความหมายและขอบเขตของคำต่างๆ (นำคำที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลองมากำหนดความหมาย) เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน และสามารถสังเกตหรือวัดได้

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ กำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่างๆ ให้สังเกตได้หรือทำการวัดได้

10.2.2.3 ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร หมายถึง การชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่งๆ

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้

10.2.2.4 ทักษะการทดลอง หมายถึง กระบวนการปฏิบัติเพื่อหาคำตอบ หรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลองการปฏิบัติการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง

ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะขึ้นแล้วคือ มีการกำหนดวิธีทดลองได้ถูกต้อง และเหมาะสม โดยคำนึงถึงตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่จะทำการควบคุม รวมถึงการระบุอุปกรณ์หรือสารเคมีซึ่งจะต้องใช้ในการทดลอง ปฏิบัติการทดลอง และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม บันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

10.2.2.5 การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป หมายถึง การแปลความหมายหรือการบรรยายลักษณะ 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

10.3 การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

การวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถวัดโดยการใช้แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบประเภทนี้สามารถบ่งชี้ระดับคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของผู้สอบด้านความคิด และทักษะปฏิบัติซึ่งสามารถดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

10.3.1 ศึกษากรอบแนวคิดทฤษฎีและจุดมุ่งหมายของการสร้างแบบทดสอบเพื่อทำความเข้าใจตัวแปรหรือประเด็นที่ต้องการวัดค่า มีแนวคิดทฤษฎีอะไรเป็นกรอบอ้างอิงรวมทั้งศึกษากับใครเพื่ออะไร

10.3.2 กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบทดสอบ เป็นการพิจารณาว่าแบบทดสอบที่จะสร้างขึ้นว่าประกอบด้วยขอบข่ายเนื้อหาสาระและพฤติกรรมอะไรบ้างที่ต้องการวัด โดยต้องคำนึงว่าข้อคำถามทั้งหมดในแบบทดสอบที่สร้างขึ้นจะต้องเป็นตัวแทนที่ดีของเนื้อหาสาระและพฤติกรรมทั้งหมดตามขอบข่ายที่นิยามไว้

10.3.3 การสร้างข้อคำถาม เป็นการเขียนข้อคำถามตามที่ระบุไว้ในตารางกำหนดรายละเอียดลักษณะเฉพาะโดยยึดหลักการใช้ภาษาที่ง่ายต่อการเข้าใจ กะทัดรัดชัดเจน ไม่ชี้แนะคำตอบ

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

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เริ่มจากศึกษากรอบแนวคิดทฤษฎีและจุดมุ่งหมายของการวิจัย กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบทดสอบ การสร้างข้อคำถาม และการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ

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

11. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเจตคติ

11.1 ความหมายของเจตคติ

ไทรแอนดิส (Triandis. 1971: 6-7) ได้ให้ความหมายของเจตคติ หมายถึง ความพร้อมในการที่จะตอบสนองและเป็นความสม่ำเสมอในการตอบสนองของบุคคลอื่น หรือสภาพทางสังคมซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการ ดังนี้ 1) องค์ประกอบด้านความรู้ความเข้าใจ (Cognitive component) เป็นการตอบสนองของบุคคลรับรู้และวินิจฉัยข้อมูลต่างๆ ที่ได้รับทำให้เกิดเจตคติซึ่งแสดงออกมาในแนวคิดที่ว่าอะไรถูก อะไรผิด 2) องค์ประกอบด้านความรู้สึก (Affective component) เป็นลักษณะทางอารมณ์ของบุคคลที่คล้อยตามความคิดถ้าบุคคลมีความคิดที่ดีต่อสิ่งใดก็จะมีความรู้สึกที่ดีต่อสิ่งนั้น เจตคติสามารถแสดงออกในลักษณะของความชอบ ไม่ชอบ พอใจหรือไม่พอใจ และ 3) องค์ประกอบด้านพฤติกรรม (Behavioral component) เป็นความพร้อมที่จะกระทำอันเป็นผลมาจากความคิดและความรู้สึกซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของการยอมรับหรือการปฏิเสธ

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์ (2527: 117-118) ได้ให้ความหมายของเจตคติ หมายถึง กิริยาท่าทีความรู้สึกรวมๆ ของบุคคลที่เกิดจากพร้อมหรือการโน้มเอียงของจิตใจหรือประสาทซึ่งแสดงออกเพื่อโต้ตอบต่อสิ่งเร้าสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยจะแสดงออกในทางสนับสนุนเห็นดีเห็นชอบด้วยหรือต่อต้านไม่เห็นดีเห็นชอบด้วยก็ได้

จากแนวคิดต่างๆ ของนักจิตวิทยาและนักวิชาการศึกษาพอจะสรุปได้ว่า เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ หมายถึง การแสดงออกซึ่งความรู้สึก การรับรู้ ความคิดเห็น ต่อข้อความที่แสดงถึงเหตุการณ์เกี่ยวกับทรัพยากรน้ำ รวมทั้งปัญหามลพิษในการที่จะปรับปรุง ป้องกันและดูแลรักษา ซึ่งได้จากการใช้แบบวัดเจตคติแบบมาตราส่วน ประมาณค่า 5 ระดับ เป็นเครื่องมือวัดผล

11.2 วิธีส่งเสริมให้เกิดเจตคติ

ครูผู้สอนเป็นบุคคลสำคัญในการส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทัศนคติที่ดีต่อการเรียนการสอน วิธีการส่งเสริมมีหลายวิธีซึ่ง อาภรณ์ ใจเที่ยง (2537: 64-65) ได้กล่าวสรุปไว้ 6 วิธี ดังนี้

11.2.1 ให้ข้อเท็จจริงที่ถูกต้องแก่ผู้เรียน โดยการอธิบายหรือจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนนำไปพิจารณาไตร่ตรอง จนเกิดการยอมรับเจตคตินั้น

11.2.2 ชักจูงผู้เรียนเกิดการยอมรับโดยการแนะนำ บอกเล่าหรือให้ความรู้เพิ่มเติมจากที่ผู้เรียนเคยเรียนรู้มาอาจให้ชมภาพยนตร์หรือฟังปาฐกถา เมื่อผู้เรียนเห็นประโยชน์และความสำคัญก็จะยอมรับเจตคตินั้น

11.2.3 จัดกิจกรรมที่เร้าใจให้เกิดการยอมรับ เช่น การให้ชมโทรทัศน์ ภาพยนตร์ ดูละคร หรือดูรูปภาพ

11.2.4 ให้เข้าร่วมกิจกรรมเพื่อให้เกิดประสบการณ์ตรง ผู้เรียนได้พบ ได้สัมผัสด้วยตนเอง ย่อมเปลี่ยนเจตคติหรือยอมรับเจตคติใหม่

11.2.5 สร้างความประทับใจให้แก่ผู้เรียน

11.2.6 การอ่านหนังสือจะช่วยเปลี่ยนเจตคติได้บ้างเพราะผู้อ่านมักจะนำตนเองเข้าไปสวมบทบาทตัวเอกในเรื่องทำให้คล้อยตามแนวติดต่างๆ ถ้าผู้เรียนจัดหนังสือที่ดีให้อ่านผู้เรียนย่อมได้เจตคติที่ต้องการ

11.3 ประโยชน์ของเจตคติ

ประภาเพ็ญ สุวรรณ (2526: 5-6) กล่าวว่า เจตคติมีประโยชน์ ดังนี้

11.3.1 ช่วยทำให้เข้าใจสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวโดยการจัดระบบสิ่งของต่างๆ ที่รอบตัวเขา โดยช่วยให้บุคคลหลีกเลี่ยงสิ่งที่ไม่ดีหรือปกปิดความจริงบางอย่างซึ่งนำความไม่พอใจมาสู่ตัวเรา

11.3.2 ช่วยในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อน ซึ่งการมีปฏิกิริยาตอบโต้หรือกระทำสิ่งหนึ่งสิ่งใดออกไปนั้นส่วนมากจะทำในสิ่งที่นำความพอใจมาให้หรือเป็นบำเหน็จรางวัลจากสิ่งแวดล้อม

11.3.3 ช่วยให้บุคคลสามารถแสดงออกถึงค่านิยมของตนเอง ซึ่งแสดงว่าเจตคตินั้นนำความพอใจมาให้บุคคลนั้น

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ ซึ่งได้จากการใช้แบบวัดเจตคติแบบมาตราส่วน ประมาณค่า 5 ระดับ เป็นเครื่องมือวัดผล

12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

12.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

บัญจรัตน์ โจลานันท์ (2538: 79) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบ Aerobic packed bed ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร พบว่า ประสิทธิภาพการลดค่า COD, BOD และ SS ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 40.47 g-COD/m^2.d เท่ากับร้อยละ 93.72, 98.72 และ 97.07 ตามลำดับ และมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเฉลี่ย 3.8 มก./ลิตร

สุวิทย์ วรรณประดิษฐ์ (2543: 54) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟิกส์เบดแอเรชั่นสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีสามารถลดค่า BOD ในน้ำเสียให้มีค่าต่ำกว่า 20 mg/l ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนของกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จึงสามารถระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งรองรับน้ำได้อย่างปลอดภัย

อดิศักดิ์ นุสิทธิ์ (2543: 67) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยระบบเอสบีอาร์ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุดอัตราส่วน BOD : COD ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.107 : 1

ฮาโมดา และบารี (Hamoda and Bary 1987) ได้รายงาน การดำเนินระบบชั้นตรึงจมน้ำแบบใช้อากาศ (Aerated submerged fixed-film, ASFF) บำบัดน้ำทิ้งที่สังเคราะห์ด้วยซูโครส ที่ความเข้มข้น COD เท่ากับ 225, 450 และ 900 มก./ลิตร ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 12.6, 25.2 และ 50.4 กรัม-COD/ตร.ม.– วัน ตามลำดับ ระบบถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนบำบัดย่อย (4 stage) ในถังเดียวกันน้ำทิ้งจะถูกบำบัดอย่างต่อเนื่องตั้งแต่หน่วยแรกถึงหน่วยสุดท้าย ผลปรากฏว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงถึงร้อยละ 97 ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ และเมื่อเพิ่มค่า

ภาระบรรทุกสูงถึง 90 กรัม – COD/ตร.ม. – วัน ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ SS มีปริมาณไม่เกิน 30 มก./ลิตร นอกจากนี้การกำจัด COD SS และปริมาณเซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่ เกิดขึ้นที่หน่วยบำบัดแรกเป็นหลัก หน่วยถัดไปนอกจากปรับคุณภาพน้ำทิ้งให้ดีขึ้นแล้ว สามารถลดปัญหาการไหลลัดวงจรของน้ำทิ้งเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ

วูลาร์ด (Woolard 1997) ได้ศึกษาความได้เปรียบของ Sequencing batch biofilm reactor;SBBR สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีความแปรปรวนสูง เปรียบเทียบกับระบบที่มีการไหลของน้ำเสียแบบต่อเนื่อง พบว่าการเดินระบบเป็นพักๆ จะมีข้อได้เปรียบกว่าระบบการไหลแบบต่อเนื่อง เพราะว่า การกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์จะสามารถทำได้ดีกว่า จึงทำให้ระบบสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงภาระอย่างเฉียบพลันได้ดีกว่า

เบเลีย และสมิช (Belia and Smith 1997) ได้ศึกษาถึงการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบเอสบีอาร์ โดยใช้แบคทีเรีย Acinetobacto Imoffii พบว่า มีความสามารถในการบำบัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 70 โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการลดค่า COD และไนโตรเจน

จากงานวิจัยที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียระบบต่างๆ ที่ใช้ออกซิเจน พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วต้องมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง จึงสามารถระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งรองรับน้ำได้อย่างปลอดภัย ลักษณะสมบัติของน้ำที่ตรวจวัดให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมีหลายเกณฑ์วัด ส่วนใหญ่สมบัติที่ศึกษาได้แก่ เกณฑ์วัด COD, BOD และ SS

12.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

12.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพของบทปฏิบัติการ

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

จำรัส อินทลาภาพร (2545: 120) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า คุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดี

ฉัตรชัย วายุวรรธนะ (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

ทวิช แจ่มจำรัส (2545: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง น้ำสกัดชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นกรณีศึกษาโรงเรียนบ้านพุน้ำร้อน จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก

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

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า คุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับดีถึงระดับดีมาก

12.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

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

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

ฐาปนีย์ เมธีพลกุล (2542: 104) ได้สำรวจปลาทะเลที่ท่าเทียบเรือประมงชุมพรเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมสร้างความรู้ชีววิทยา เรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 86.40/82.67

สมเกียรติ แก้วจำรัสสุขสันต์ (2544: 130) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 87.76/86.73

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

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ พบว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 80/80

12.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน

12.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

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

พรยมล บัวคีรี (2546: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง สารและสมบัติของสารสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 พบว่า คะแนนเฉลี่ยผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านความรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

เมธา โยธาฤทธิ์ (2549: 84) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดปฏิบัติการ เรื่อง ระบบนิเวศป่าชายเลนสำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างหลังใช้บทปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ศุภพงศ์ คล้ายคลึง (2545: 45) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทดลองโดยใช้ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สุรพล วิหคไพบูลย์ (2543: 62) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้ทำบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สมิท (Smith. 1994: 2528-A) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายกับการสอนแบบให้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง พบว่า นักเรียนที่ได้รับการสอนแบบลงมือปฏิบัติด้วยตนเองสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยาย

อัลรูวาชิด (Al-Ruwashid. 1984: 1357- A) ได้ศึกษาผลของการเรียนการสอนวิชาเคมีที่ใช้การบรรยายอย่างเดียวกับการบรรยาย และการทำบทปฏิบัติการที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี พบว่า นักเรียนที่ได้รับการสอนแบบการบรรยาย และการทำบทปฏิบัติการมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า การจัดกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึกคิด ฝึกค้นคว้าปฏิบัติด้วยตนเองจะมีผลทำให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในบทเรียนอย่างแท้จริง และส่งผลให้นักเรียนเกิดการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ดีขึ้น

12.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

จำรัส อินทลาภาพร (2545: 120) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงว่าก่อนเรียน

ชลิตา พันธุ์ออน (2545: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาหมัก พบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ธนวรรณ โสมน้อย (2548: 74) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา พบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงว่าก่อนเรียน

พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548: 143) ได้ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี พบว่า โดยภาพรวมของนักเรียนก่อนเรียน

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 55) ศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติกคาร เรื่อง เทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

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

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

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนสามารถฝึก และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้โดยการปฏิบัติอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ครูต้องกระตุ้น และส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน โดยเฉพาะกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติการทดลอง

12.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเจตคติ

สมศรี จันทร์รุ่งมณีกุล (2539: 122-130) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยสิ่งที่อยู่รอบตัวเรา และเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนตามแนวคิดการพัฒนาแบบยั่งยืน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการอนุรักษ์

สิ่งแวดล้อม ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยการสอนตามแนวคิดการพัฒนาแบบยั่งยืน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนภายหลังการสอนสูงกว่าก่อนการสอน และมีเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายหลังการสอนสูงกว่าก่อนการสอน

พิษณุ เดชใด (2540: 85) ได้ศึกษาเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาสังคมศึกษาโดยการสอนแบบบูรณาการที่ใช้เทคนิคการพัฒนาแบบยั่งยืน พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยการสอนแบบบูรณาการที่ใช้เทคนิคการพัมนาแบบยั่งยืนกับนักเรียนที่เรียนด้วยการสอนตามคู่มือการสอนของหน่วยศึกษานิเทศ กรมสามัญศึกษา มีเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เบอร์เชทท์ (Burchett. 1972: 4439A) ได้ศึกษาเจตคติเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมของนักเรียนในระดับ 4, 5 และ 6 จำนวน 98 ห้องเรียน จากโรงเรียนประถมศึกษา 2 โรง ผลการวิจัย พบว่านักเรียนมีเจตคติต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมในทางบวก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเจตคติของนักเรียน คือ การสอนของครู และสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ภาพยนตร์ ส่วนองค์ประกอบสำคัญที่จะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงเจตคติของนักเรียน คือ การได้มีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

แซคเคอร์ (Zacher. 1975: 4883A) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนในรัฐมอนตานา โดยสุ่มนักเรียน 436 คน จาก 6 โรงเรียน พบว่า เพศ ขนาดครอบครัว การอ่านหนังสือพิมพ์ การได้ศึกษาความรู้ทางด้านสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนและภูมิลำเนาของนักเรียน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความรู้ทางด้านสิ่งแวดล้อม และจากการเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ปรากฏว่านักเรียนชายมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนหญิง นักเรียนจากครอบครัวเล็กมีคะแนนสูงกว่า นักเรียนในครอบครัวใหญ่ นักเรียนที่อ่านหนังสือพิมพ์ตั้งแต่ 3 ฉบับขึ้นไปมีคะแนนสูงกว่านักเรียนที่อ่านน้อยกว่านั้น

จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเจตคติ พบว่า เจตคติมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรม เนื่องจากมนุษย์จะแสดงพฤติกรรมตามความเชื่อและความรู้สึกของตน เมื่อมนุษย์มีการรับรู้ เรียนรู้ มีการตัดสินใจแสดงพฤติกรรม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองภายใต้สภาวการณ์ตามธรรมชาติ

2. สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สถานที่อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เป็นสถานที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย การวิเคราะห์น้ำเสียในส่วนของค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ทำการตรวจวัดทันทีที่เก็บ ส่วนค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย กระทำที่ห้องปฏิบัติการ

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เริ่มตั้งแต่ วันที่ 3 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 ถึง วันที่ 23 เดือนกันยายน พ.ศ. 2551

4. ตัวอย่างน้ำและการเก็บตัวอย่าง

4.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในครั้งนี้ ได้แก่ น้ำทิ้งจากอาคารอำนวยการ อาคารหอสมุด อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน และอาคารสโมสรนิสิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

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

4.3 การเก็บตัวอย่างจะกระทำสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 10.00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง

5. ตัวแปรที่ศึกษา

5.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศให้กับน้ำเสีย

5.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามเกณฑ์มาตรฐานตามค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

5.2.1 อุณหภูมิ

5.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

5.2.3 ค่าดีโอ

5.2.4 ค่าบีโอดี

5.2.5 ค่าซีโอดี

5.2.6 ค่าน้ำมันและไขมัน

5.2.7 ค่าของแข็งแขวนลอย

6. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

6.1 วัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

6.1.1 ขวดพลาสติกใส่ตัวอย่างน้ำขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ

6.1.2 บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ

6.1.3 บีกเกอร์ 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 (Analytial balance)

6.3.2 พีเอชมิเตอร์ (pH meter)

6.3.3 ตู้อบ (Hot air oven)

6.3.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Cooling incubator)

6.3.5 ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร

6.3.6 กระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน

6.3.8 เครื่องแก้วต่างๆ

6.3.9 สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

7. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

7.1 ค่าอุณหภูมิ การตรวจวัดอุณหภูมิทำโดยการใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์จุ่มลงในน้ำทิ้ง ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำ โดยต้องทำทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำแล้วอ่านอุณหภูมิ (สนอง ทองปาน. 2540: 85)

7.2 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)

7.3 ค่าดีโอ การตรวจวัดค่าดีโอวิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide modificotion) ทำโดยการเติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ลงในขวดบีโอดีโดยวิธีกาลักน้ำจนล้นขวดอย่าให้มี ฟองอากาศ แล้วเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต และสารละลาย อัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตต์อยู่ใต้ผิวน้ำจากนั้นปิดจุกเขย่าขวดประมาณ 15 ครั้ง เปิดจุกออกแล้ว เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยให้กรดไหลลงไปตามด้านข้างของคอขวดและให้ปลายปิเปตต์ อยู่เหนือน้ำปิดจุกเขย่าขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมดตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีก่อนนำไปไตรเตรต แล้วเติมสารละลายแมกกานีสซัลเฟตและสารละลาย อัลคาไล-ไกโอไดด์-เอไซด์ อย่างละ 1.5 มิลลิลิตร แล้วรินสารละลายจากขวด บีโอดี จำนวน 202 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยนำไปไตรเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล จนกระทั้งได้สีเหลืองเติมแป้ง 1 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินหายไปหมด บันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปเป็น มิลลิลิตร จะมีค่าเท่ากับค่าดีโอ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 77)

7.4 ค่าบีโอดี การตรวจวัดค่าบีโอดีวิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง โดยการใช้กระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำเจือจางที่เตรียมไว้จำนวน 3,000 มิลลิลิตร โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ดูดตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาค่าบีโอดีใส่ลงในกระบอกตวงตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในอัตราการเจือจาง แล้วเติมน้ำลงในกระบอกตวงให้มีปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร ทำการผสมด้วยแท่งแก้วโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศนานประมาณ 2 นาที จากนั้นถ่ายตัวอย่างน้ำจากกระบอกตวงลงสู่ขวดบีโอดีที่เตรียมไว้อย่างช้าๆ ให้เต็มทั้ง 2 ชุด โดยไม่ให้มีฟองอากาศแล้วปิดจุกให้สนิทแล้วนำตัวอย่างน้ำที่บรรจุอยู่ในขวดบีโอดี ชุดที่ 1 ไปหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ วันที่ 0 ส่วนตัวอย่างน้ำที่เหลืออีก 1 ชุด นำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำมาหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 81-86)

7.5 ค่าซีโอดี การตรวจวัดค่าซีโอดีทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาแบบปิดทำโดยการดูดตัวอย่างน้ำมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วเพาะเชื้อ ขนาด 20 × 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) ลงไปจำนวน 3 มิลลิลิตร และตามด้วยกรดซัลฟิวริค (Sulfuric acid) จำนวน 0.4 กรัม ถ้ามีคลอไรด์มาก ต้องเพิ่มโพแทสเซียมไดโครเมตเป็น 7 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดให้แน่นแล้วเขย่าให้สารผสมกัน วางหลอดแก้วในชั้นวาง แล้วทำการอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเทออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวยแล้วหยดเฟอร์โรอีนอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) ลงไป 2-3 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตมาตรฐาน (Standard ferrous ammonium sulfate solution) จนถึงจุดยุติ ซึ่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนจากเขียวอมน้ำเงินเป็นสีฟางข้าวจดปริมาตรไว้ ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างแล้วทำตามวิธีเดียวกัน (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2538: 78-80)

7.6 ค่าน้ำมันและไขมัน การตรวจวัดค่าน้ำมันและไขมันทำการวิเคราะห์โดยวิธีการสกัดไขมันและน้ำมันด้วยกรวยแยก ทำโดยนำตัวอย่างน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้นจนมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 2 เทตัวอย่างตัวอย่างน้ำจากบีกเกอร์ใส่กรวยแยก เติมเฮกเซนจำนวน 10-15 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ ประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้สารผสมจะแยกชั้นโดยชั้นเฮกเซนจะอยู่ส่วนบนตัวอย่างน้ำจะอยู่ส่วนล่าง ถ่ายชั้นตัวอย่างน้ำไว้ในบีกเกอร์เดิมเพื่อนำมาสกัดอีก เทชั้นของเฮกเซนซึ่งมีน้ำมันและไขมันละลายอยู่ผ่านกรวยกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตบนกระดาษกรองในถ้วยระเหยซึ่งทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่และชั่งไว้แล้ว ทำการสกัดซ้ำด้วยวิธีเดียวกันอีกหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งไขมันและน้ำมันถูกสกัดออกจากตัวอย่างน้ำจนหมด นำถ้วยระเหยซึ่งมีเฮกเซนและไขมันและน้ำมันละลายอยู่ไประเหยเอาเฮกเซนออกบนเครื่องอังน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งปราศจากความชื้นแล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักของไขมันและน้ำมันที่เหลืออยู่ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538: 133-134)

7.7 ค่าของแข็งแขวนลอย การตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานแล้วนำไปอบแห้ง และชั่งน้ำหนัก (กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525: 264-265)

8. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผู้วิจัยดำเนินการ ดังนี้

8.1 เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนให้อยู่ในสภาวะคงที่

8.2 เก็บตัวอย่างน้ำในคลองรับน้ำทิ้งรวมจากอาคารอำนวยการ อาคารหอสมุด อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน และอาคารสโมสรนิสิต บริเวณจุดของเตาเผาขยะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อน

8.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพ จะทำการเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบให้อยู่ในภาวะคงที่ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง สัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ ในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมจำนวนทั้งหมด 24 ตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย จะเก็บตัวอย่างรวมทั้งหมด 2 จุด คือ

จุดที่ 1 น้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒก่อนสูบเข้าสู่ระบบบำบัด

จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยการเติมออกซิเจนในน้ำเสีย

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการจะกระทำภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว

8.4 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล รายละเอียดดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์ (กรมควบคุมมลพิษ. 2537: 89)

คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าอุณหภูมิ	1. พีเอชมิเตอร์
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2. พีเอชมิเตอร์
3. ค่าดีโอ	3. เอไซด์โมดิฟิเคชัน
4. ค่าบีโอดี	4. เอไซด์โมดิฟิเคชัน
5. ค่าซีโอดี	5. รีฟลักซ์แบบปิด
6. ค่าน้ำมันและไขมัน	6. วิธีการสกัดน้ำมันและไขมันด้วยกรวยแยก
7. ค่าของแข็งแขวนลอย	7. กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน

9. การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ สถิติพรรณนา ในการพรรณนาข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ รายละเอียดดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ. 2547: ออนไลน์)

ค่าพารามิเตอร์	เกณฑ์มาตรฐาน
1. ค่าอุณหภูมิ	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส*
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-9
3. ค่าดีโอ	ไม่ต่ำกว่า 4 มก./ลิตร**
4. ค่าบีโอดี	ไม่เกิน 20 มก./ลิตร
5. ค่าซีโอดี	ไม่เกิน 120 มก./ลิตร
6. ค่าน้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 20 มก./ลิตร
7. ค่าของแข็งแขวนลอย	ไม่เกิน 30 มก./ลิตร

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนย่อย

1. ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการ
2. ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการพัฒนานวัตกรรม
3. ยกร่างนวัตกรรม

3.1 บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผู้วิจัยพัฒนามาจากบทปฏิบัติการของ สุรพล วิหคไพบูลย์ (2543) และวรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551) มี 5 บท คือ

1) บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ
2) บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง ความสำคัญของน้ำ
3) บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย
4) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
5) บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ

3.2 แต่ละบทของบทปฏิบัติการมีองค์ประกอบ ดังนี้

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

3.3. คุณสมบัติขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการ

องค์ประกอบที่ 1 ชื่อบทปฏิบัติการ ต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของบทปฏิบัติการที่ต้องการเป็นอย่างไร

องค์ประกอบที่ 2 ใบความรู้ ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด สอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

องค์ประกอบที่ 3 หลักการ ต้องมีความสอดคล้องกับบทปฏิบัติการ และเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

องค์ประกอบที่ 4 จุดประสงค์ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของบทปฏิบัติการนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้วัดได้เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง

องค์ประกอบที่ 5 เวลาที่ใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่กำหนด

องค์ประกอบที่ 6 อุปกรณ์และสารเคมี ต้องเหมาะสมกับระดับนักเรียน และเรื่องที่ทำการทดลอง

องค์ประกอบที่ 7 วิธีการทดลอง ต้องกำหนดให้ชัดเจน เข้าใจง่าย นักเรียนจะได้ปฏิบัติได้ถูกต้อง

องค์ประกอบที่ 8 แบบรายงานผลการทดลอง ต้องมีขั้นตอน และสอดคล้องกับเนื้อหาวิชาและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สอน

องค์ประกอบที่ 9 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ ต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แนวคิดและเนื้อหาที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นที่คาดหวังว่าบทปฏิบัติการมีความเหมาะสมและผู้สอนสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ผู้เรียนสามารถตอบข้อคำถามในแบบทดสอบเพื่อประเมินผลผู้เรียนในแต่ละกิจกรรมได้ถูกต้อง

4. ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจพิจารณานวัตกรรมทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ 1 ท่าน ได้แก่ อาจารย์วรวัฒน์ ทิพจ้อย ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 2 ท่าน ได้แก่ อาจารย์บุญรอด ชาติยานนท์ และอาจารย์ศศิพงษ์ ศรีสวัสดิ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา 2 ท่าน ได้แก่ อาจารย์เอกราช ดีนาง และอาจารย์กัมปนาท บริบูรณ์ เพื่อทำการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ ตามแนวของลิเคอร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 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 4.51-5.00 หมายถึง ดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง ดี

ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง พอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 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 นักเรียนช่วงชั้นที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งอยู่ภายใต้หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2544

2. เลือกกลุ่มตัวอย่าง

เลือกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 จำนวน 40 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi - Stage Random Sampling) ดังนี้

2.1 เลือกนักเรียนปีการศึกษา 2552 เป็นกลุ่มตัวแทน โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

2.2 จากนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2552 ซึ่งมีจำนวน 2 ห้อง สุ่มเลือกมา 1 ห้อง โดยการสุ่มแบบจัดกลุ่ม (Cluster Random Sampling)

2.3 ได้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมา 1 ห้อง จำนวน 40 คน เพื่อใช้ในการทดลองสอน

3. การสร้างเครื่องมือวัดผล

3.1 เครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งผู้วิจัยพัฒนามาจาก วรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551) โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้แก่ องอาจ นัยพัฒน์ (2548); ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์ (2542); ประวิตร ชูศิลป์ (2524); สมนึก ภัททิยธนี (2537); และพวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530)

3.1.2 นำแบบทดสอบของ วรวัฒน์ ทิพจ้อย มาพัฒนาโดยในเบื้องต้นนำมาตรวจสอบโครงสร้างตามองค์ประกอบดังนี้ ด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และด้านการวิเคราะห์

3.1.3 ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างบทปฏิบัติการ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา 2 ท่าน ตรวจพิจารณาความเหมาะสมซึ่งผลที่ได้จะอยู่ในรูปเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณแล้วนำผลการพิจารณามาดำเนินการ

- คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยจะทำการคัดเลือกข้อที่มีค่าไม่ต่ำกว่า .50 ไว้ดำเนินการต่อไป

- นำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป

3.1.4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการพิจารณาดังกล่าวแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 100 คน นำมาคำนวณหาคุณภาพของเครื่องมือ

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

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

- หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับจากข้อที่มีคุณสมบัติตามค่าความยากง่าย และอำนาจจำแนกโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน

3.1.5 จัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2 เครื่องมือวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งผู้วิจัยพัฒนามาจาก วรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551) โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ องอาจ นัยพัฒน์ (2548); วรรณทิพา รอดแรงค้า และจิต นวนแก้ว (2532); ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์ (2542); ภพ เลาหไพบูลย์ (2540); วีรชาติ สวนไพรินทร์ (2531); และสุวัฒก์ นิยมค้า. (2531)

3.2.2 นำแบบทดสอบของ วรวัฒน์ ทิพจ้อย มาพัฒนาโดยในเบื้องต้นนำมาตรวจสอบโครงสร้างตามองค์ประกอบ ดังนี้

- ทักษะการสังเกต
- ทักษะการวัด
- ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
- ทักษะการทดลอง

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

- คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยจะทำการคัดเลือกข้อที่มีค่าไม่ต่ำกว่า .50 ไว้ดำเนินการต่อไป
- นำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป

3.2.4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการพิจารณาดังกล่าวแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 100 คน นำมาคำนวณหาคุณภาพของเครื่องมือ

- หาความยากง่าย (p) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เตห์ ฟาน คัดเลือกข้อซึ่งมีความยากง่ายระหว่าง .20 - .80 ไว้เพื่อดำเนินการต่อไป
- หาอำนาจจำแนก (r) โดยใช้เทคนิค 27% ของ จุง เตห์ ฟาน คัดเลือกข้อที่มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไปไว้เพื่อดำเนินการต่อไป
- หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับจากข้อที่มีคุณสมบัติตามค่าความยากง่าย และอำนาจจำแนกโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน

3.2.5 จัดพิมพ์ข้อสอบเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.3 เครื่องมือวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

เครื่องมือวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งผู้วิจัยพัฒนามาจาก นาตยา ช่วยชูเชิด (2548) โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบวัดเจตคติ ได้แก่ เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์ (2520); รวีวรรณ อังคนุรักษ์พันธุ์ (2533); พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2543); และกรรณิกา ไผทฉันท์. (2541)

3.3.2 สร้างข้อคำถามเกี่ยวกับเจตคติต่อทรัพยากรน้ำโดยมีข้อความที่ประพฤติในทางบวก (Positive) และพฤติกรรมทางลบ (Negative) และระดับที่ใช้ประเมินมี 5 ระดับ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อความที่แสดงความเจตคติทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความ ดังนี้

มากที่สุด	ให้คะแนน	5	คะแนน
มาก	ให้คะแนน	4	คะแนน
ปานกลาง	ให้คะแนน	3	คะแนน
น้อย	ให้คะแนน	2	คะแนน
น้อยที่สุด	ให้คะแนน	1	คะแนน

ข้อความที่แสดงความเจตคติทางลบ กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความ ดังนี้

มากที่สุด	ให้คะแนน	1	คะแนน
มาก	ให้คะแนน	2	คะแนน
ปานกลาง	ให้คะแนน	3	คะแนน
น้อย	ให้คะแนน	4	คะแนน
น้อยที่สุด	ให้คะแนน	5	คะแนน

การแปลความหมายของการวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำว่าอยู่ในระดับใดจะแปลความหมายจากค่าเฉลี่ยระดับคะแนนของกลุ่มในแต่ละด้านโดยเกณฑ์ ดังนี้

ข้อความที่แสดงความรู้สึกในทางบวก

ค่าเฉลี่ย	4.51 – 5.00	แสดงว่า	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.51 – 4.50	แสดงว่า	มาก
ค่าเฉลี่ย	2.51 – 3.50	แสดงว่า	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.51 – 2.50	แสดงว่า	น้อย
ค่าเฉลี่ย	1.00 – 1.50	แสดงว่า	น้อยที่สุด

ข้อความที่แสดงความรู้สึกในทางลบ

ค่าเฉลี่ย	4.51 – 5.00	แสดงว่า	น้อยที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.51 – 4.50	แสดงว่า	น้อย
ค่าเฉลี่ย	2.51 – 3.50	แสดงว่า	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.51 – 2.50	แสดงว่า	มาก
ค่าเฉลี่ย	1.00 – 1.50	แสดงว่า	มากที่สุด

3.3.3 นำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำที่สร้างขึ้นเสนอต่อประธาน และคณะกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์แล้วนำมาปรับแก้ตามข้อเสนอแนะ

3.3.4 นำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำที่ปรับแก้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินเพื่อตรวจสอบความถูกต้องตามนิยามศัพท์ ความเหมาะสมของประเด็นคำถาม ความชัดเจนของภาษาที่ใช้ และความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการวัด เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปไว้

3.3.5 นำข้อคำถามที่คัดเลือกไว้มาจัดทำเป็นแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

3.3.6 นำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 100 คน เพื่อนำข้อมูลมาหาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α - coefficient) โดยใช้สูตรของครอนบัค

3.3.7 จัดพิมพ์แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำเพื่อเตรียมไว้ใช้กลุ่มตัวอย่าง

3.3.8 จัดพิมพ์แบบวัดเจตคติเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4. กำหนดแบบแผนการทดลอง

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

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

5. การดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปดำเนินการ ดังนี้

5.1 ทดสอบก่อนเรียน ทำการประเมินด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

5.2 ทดลองใช้บทปฏิบัติการกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ปีการศึกษา 2552 จำนวน 40 คน โดยให้อาจารย์ที่สอนวิชาวิทยาศาสตร์ของโรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ คือ อาจารย์สุภาณี ช่วยประคอง เป็นผู้สอน

5.3 การทดลองสอนกระทำในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 ในคาบวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 คาบ คาบละ 50 นาที รวม 10 คาบ

5.4 เมื่อนักเรียนเรียนครบทุกบทปฏิบัติการจะทำการประเมินผลการเรียนรู้ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

5.5 ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

6.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

6.3 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ แบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ผู้วิจัยได้นำเสนอโดยใช้ตาราง แผนภูมิ คำอธิบายประกอบท้ายตาราง และแผนภูมิ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น มีดังต่อไปนี้

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

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ แสดงดังตาราง 4-11 และภาพประกอบ 2-8

ตาราง 4 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

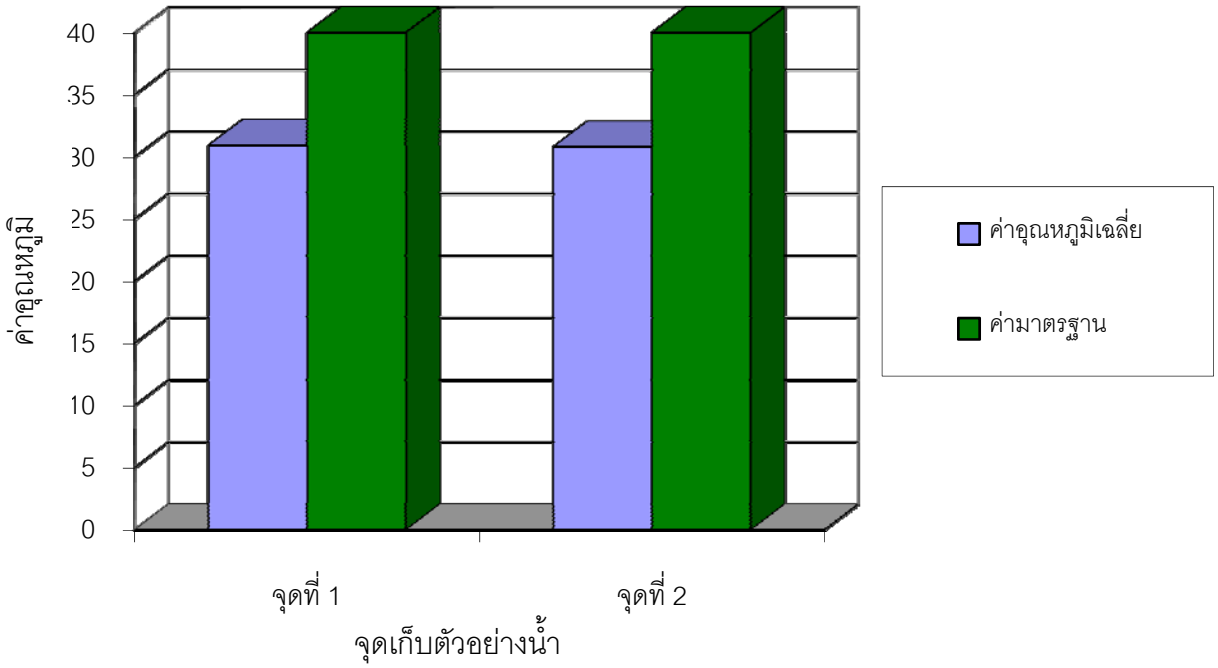
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\overline{X}$	30.93	30.81	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
S.D.	0.14	0.22	
Max	31.2	31.10	
Min	30.60	30.20	
ประสิทธิภาพในการลดค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (ร้อยละ)		0.38	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 4 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจุดที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.93 องศาเซลเซียส และจุดที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.81 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการลดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 0.38 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

จากภาพประกอบ 2 แสดงว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 30.81 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

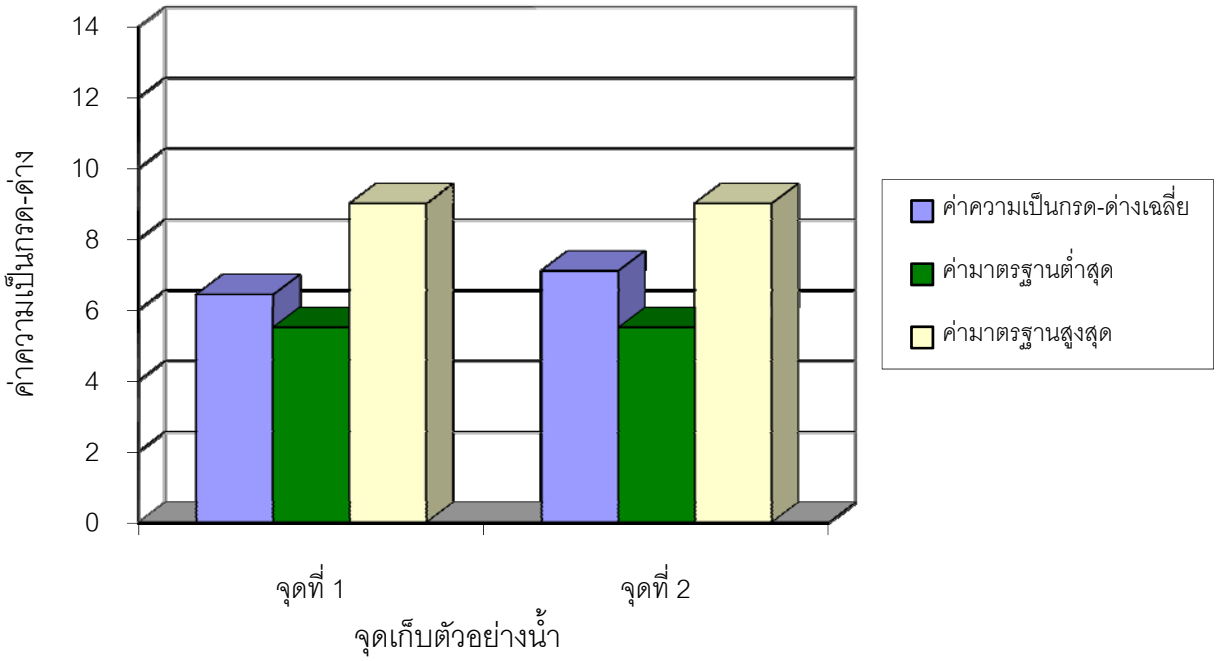
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\bar{X}$	6.43	7.10	5.5-9
S.D.	0.21	0.11	
Max	6.98	7.28	
Min	6.15	6.75	
ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย (ร้อยละ)		10.41	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 5 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจุดที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 6.43 และจุดที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.10 ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 10.41 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 3 แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.10 ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 6 แสดงค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

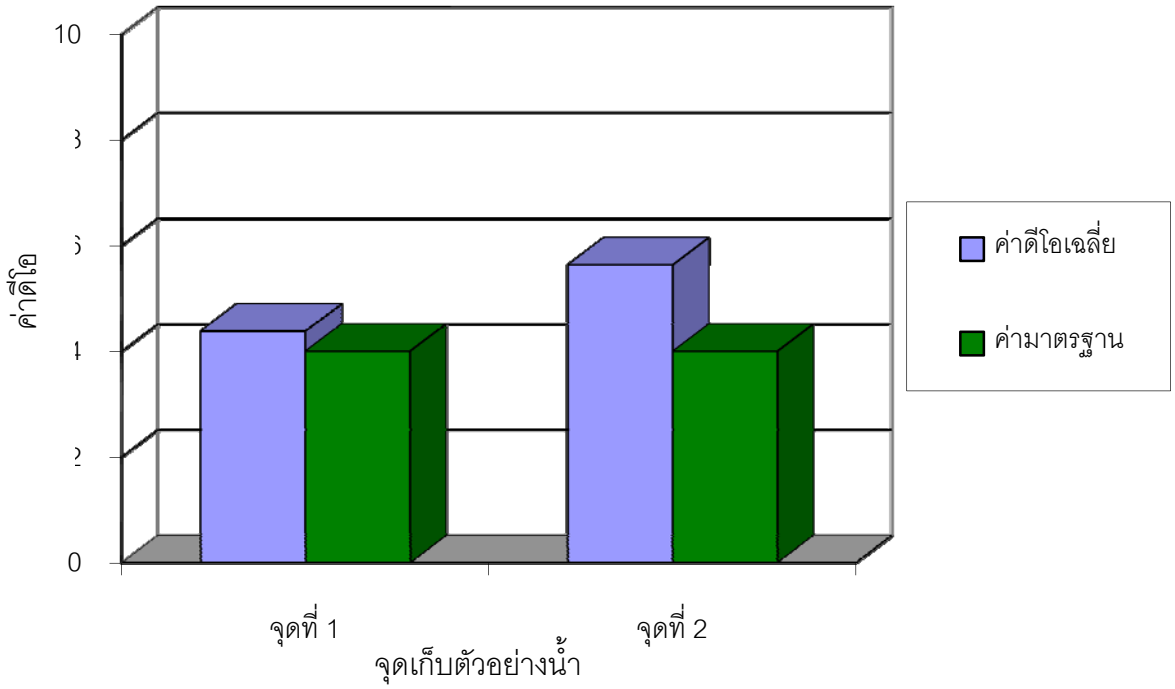
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\bar{X}$	4.38	5.63	ไม่ต่ำกว่า 4 มก./ลิตร
S.D.	0.21	0.23	
Max	4.68	5.98	
Min	4.10	5.27	
ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีโอเฉลี่ย (ร้อยละ)		28.53	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 6 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 28.53 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าดีโอกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529 ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529

จากภาพประกอบ 4 แสดงว่าค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 5.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 7 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

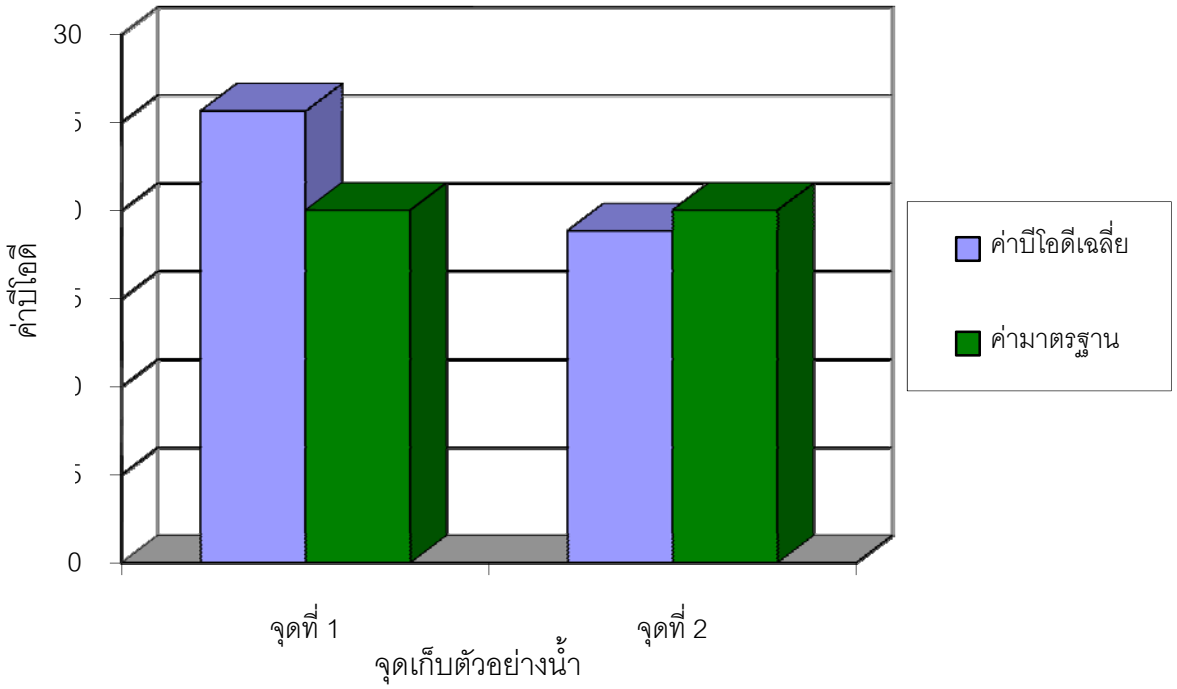
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\overline{X}$	25.62	18.83	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	3.17	3.23	
Max	33.26	25.41	
Min	20.32	13.33	
ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเฉลี่ย (ร้อยละ)		26.50	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 7 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 25.62 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 18.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 26.50 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 5 แสดงว่าค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 18.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 8 แสดงค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

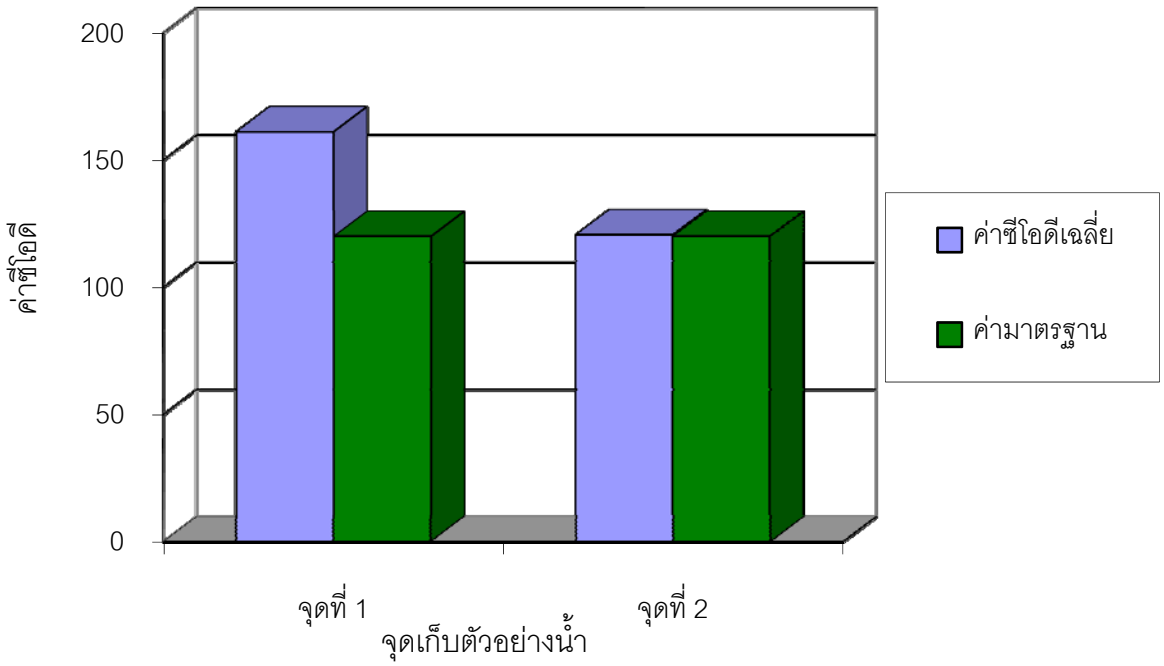
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\overline{X}$	161.04	120.61	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	7.73	5.33	
Max	174.52	134.48	
Min	145.22	110.42	
ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเฉลี่ย (ร้อยละ)		25.11	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 8 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 161.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 120.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 25.11 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าซีโอดีเฉลี่ยกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 6 แสดงว่าค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 120.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 9 แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

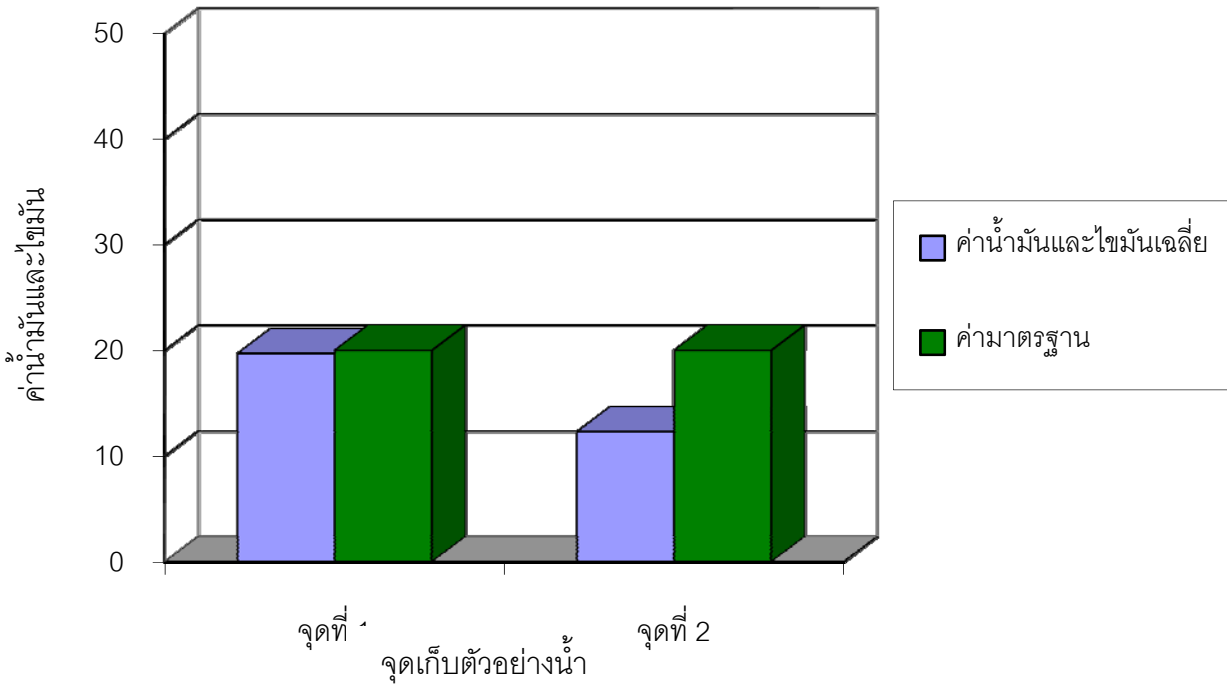
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 (1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 (2) น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\overline{X}$	19.70	12.30	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	2.45	1.98	
Max	25.41	16.54	
Min	16.32	9.09	
ประสิทธิภาพในการลดค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ย (ร้อยละ)		37.56	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 9 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 19.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 12.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 37.56 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 7 แสดงว่าค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 12.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 10 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

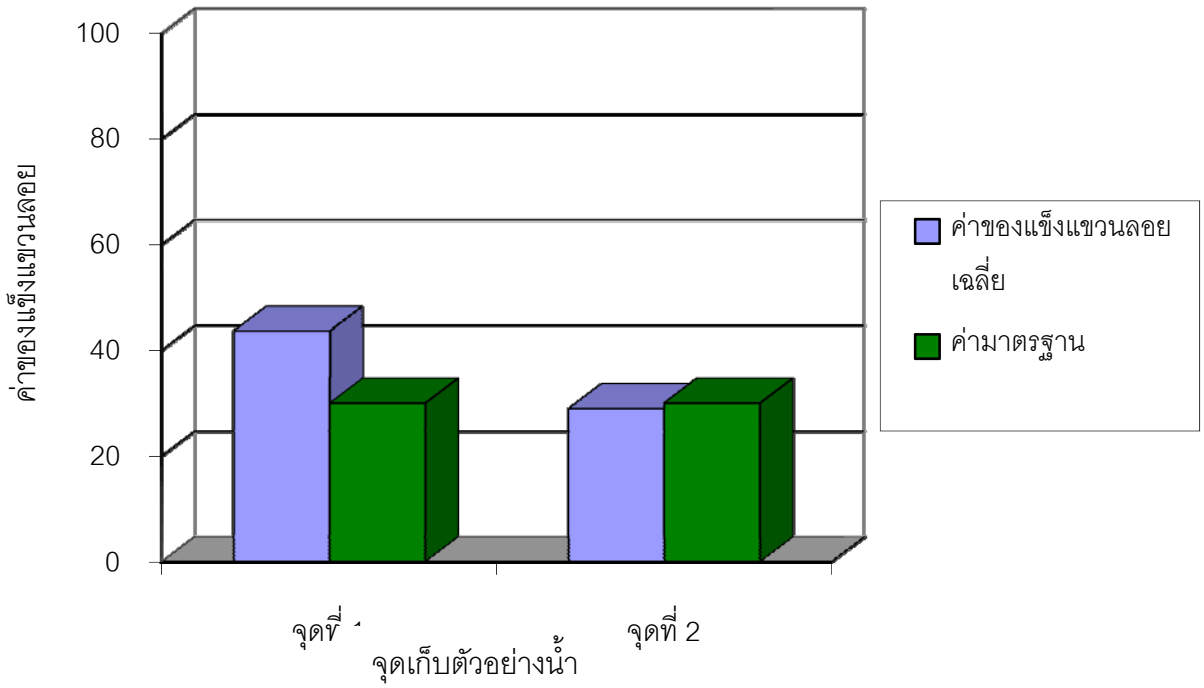
จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1 [1] น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2 [2] น้ำออกระบบ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ
$\overline{X}$	43.61	28.91	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
S.D.	5.56	4.77	
Max	54.14	39.71	
Min	31.64	20.29	
ประสิทธิภาพในการลดค่าของแขวนลอยเฉลี่ย (ร้อยละ)		37.71	

หมายเหตุ

(1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

(2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเรียบร้อยแล้ว

จากตาราง 10 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 43.61 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 28.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 37.71 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537

จากภาพประกอบ 8 แสดงว่าค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ในจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 28.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 11 แสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศโดยภาพรวม

คุณภาพน้ำจุดต่างๆ	ค่าพารามิเตอร์						
	อุณหภูมิ (ซ°)	ความเป็นกรด-ด่าง	ดีโอ (มก./ล.)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)
จุดที่ 1 น้ำเข้าระบบ	30.93	6.43	4.38	25.62	161.04	19.70	43.61
จุดที่ 2 น้ำออกจากระบบ	30.81	7.10	5.63	18.83	120.61	12.30	28.91
เกณฑ์มาตรฐาน	≤40	5.5-9	≥ 4	≤ 20	≤120	≤ 20	≤ 30
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	0.38	10.41	28.53	26.50	25.11	37.56	37.71
ผลการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

หมายเหตุ

≤ = ไม่เกินกว่า

≥ = ไม่ต่ำกว่า

จากตาราง 11 แสดงว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย มีค่าร้อยละ 0.38, 10.41, 28.53, 26.50, 25.11, 37.56 และ 37.71และผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ ผลปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนค่าซีโอดี ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนามาจากบทปฏิบัติการของสุรพล วิหคไพบูลย์ (2543) และวรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551) ซึ่งการพัฒนาครั้งนี้ได้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย 5 บท ดังนี้

1) บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

2) บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง ความสำคัญของน้ำ

3) บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย

4) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

5) บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ตรวจพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ปรากฏผลดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

บทปฏิบัติการที่	รายการประเมิน				$\bar{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
	เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)	บทปฏิบัติการ	รายงานผลการทดลองและคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	คู่มือประกอบบทปฏิบัติการ			
1	4.13	4.33	4.06	4.35	4.22	0.14	ดี
2	4.55	4.50	4.51	4.55	4.53	0.02	ดีมาก
3	4.20	4.42	4.57	4.37	4.39	0.15	ดี
4	4.24	4.29	4.57	4.15	4.31	0.18	ดี
5	4.17	4.18	4.33	4.20	4.22	0.07	ดี
ภาพรวม	4.26	4.35	4.41	4.32	4.33	0.11	ดี

จากตาราง 12 ผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน สรุปได้ว่า บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ และบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.22, 4.39, 4.31 และ 4.22 กล่าวได้ว่า บทปฏิบัติการแต่ละบทมีคุณภาพในระดับดี ส่วนบทปฏิบัติการที่ 2 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 กล่าวได้ว่า บทปฏิบัติการมีคุณภาพในระดับดีมาก และโดยภาพรวมคุณภาพของบทปฏิบัติการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 แสดงว่า บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีคุณภาพในระดับดี

2. การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ จำนวน 3 ครั้ง สรุปผลได้ดังนี้

ครั้งที่ 1 ทดลองกับนักเรียนเป็นรายบุคคล จำนวน 3 คน ซึ่งประกอบไปด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2551 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน ผลจากการสัมภาษณ์นักเรียนปรากฏว่านักเรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับเก่ง และปานกลางสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้ค่อนข้างรวดเร็วมีข้อผิดพลาดน้อย เนื่องจากส่วนหนึ่งมีพื้นฐานด้านการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์มาในระดับหนึ่ง และเข้าใจภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการ สื่อความหมายได้ตรงกับจุดประสงค์การทดลองที่กำหนด ส่วนนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยอยู่ในกลุ่มอ่อน การปฏิบัติกิจกรรมเป็นไปด้วยความล่าช้าเนื่องจากไม่เข้าใจในเนื้อหาของบทปฏิบัติการ ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการเข้าใจยากส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจในกิจกรรมการทดลอง ขาดความมั่นใจในการปฏิบัติประกอบกับนักเรียนไม่มีความคุ้นเคยกับวิธีการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การปฏิบัติกิจกรรมไม่ต่อเนื่องและผลการทดลองผิดพลาดจากความเป็นจริง ผู้วิจัยจึงนำบทปฏิบัติการมาปรับแก้ในส่วนของภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการให้มีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียนและเพิ่มความชัดเจนในส่วนเนื้อหาบทปฏิบัติการให้ดียิ่งขึ้น

ครั้งที่ 2 ทดลองกับนักเรียนกลุ่มย่อย จำนวน 9 คน ประกอบด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2551 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน ผลปรากฏว่า นักเรียนสามารถปฏิบัติกิจกรรมการทดลองเสร็จตามเวลาที่กำหนด ผลการทดลองถูกต้องเนื่องจากมีความเข้าใจในเนื้อหาของบทปฏิบัติการมีการแบ่งหน้าที่ในการปฏิบัติกิจกรรม และปรึกษาหารือกันระหว่างสมาชิกภายในกลุ่ม ตลอดจนบทบาทของครูผู้สอนที่เพิ่มขึ้นในการให้คำแนะนำ บอกกล่าว และเสริมแรงในบางโอกาสส่งผลให้นักเรียนมีความมั่นใจในการปฏิบัติกิจกรรม กล้าแสดงออกในทางที่เหมาะสมผลการทดลองที่ได้จึงมีความถูกต้องและตรงกับความเป็นจริง

ครั้งที่ 3 ทดลองกับนักเรียนกลุ่มใหญ่ จำนวน 30 คน ประกอบด้วยนักเรียนที่มีผลการเรียนเฉลี่ยทุกวิชาในปีการศึกษา 2551 อยู่ในระดับเก่ง ปานกลาง และอ่อน โดยให้นักเรียนกลุ่มทดลองทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการของบทปฏิบัติการแต่ละบท และทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย หลังการเรียนด้วยบทปฏิบัติการเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ดังตาราง 11

ตาราง 13 แสดงค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากคำถามท้ายบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย และร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ จำนวน 30 คน

การทดสอบ	บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย					ค่าร้อยละ	
	บท 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ	บท 2 ความสำคัญของน้ำ	บท 3 สาเหตุของน้ำเสีย	บท 4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ	บท 5 การอนุรักษ์น้ำ	(E1)	(E2)
ระหว่างเรียน	76.70	79.30	81.30	79.00	85.00	80.26	-
หลังเรียน	-	-	-	-	-	-	80.71

จากตาราง 13 พบว่า การทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย แต่ละบทของนักเรียน มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.26 และจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนจบทุกบทปฏิบัติการ นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.71 จึงสรุปได้ว่าบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ มีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

3. การหาคุณภาพของเครื่องมือ

3.1 นำเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปหาคุณภาพกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 100 คน เพื่อหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดย

ผู้วิจัยเลือกข้อคำถามที่มีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.22-0.79 ค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.21-0.79 และแบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.98

3.2 จากนั้นหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ โดยแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ มีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.86

ตอนที่ 3 : การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

1. การศึกษาผลการทดลองใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 แล้ว นำไปสอนจริงกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างโดยศึกษาผลการทดลองสอนด้วยบทปฏิบัติการในประเด็น ดังต่อไปนี้

1.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ปรากฏผลดังตาราง 14

ตาราง 14 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

การทดสอบ	n	$\overline{X}$	S.D	t	df	p
ก่อนเรียนบทปฏิบัติการ	40	26.28	4.68	42.82*	39	.000
หลังใช้บทปฏิบัติการ	40	31.53	4.75			

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

จากตาราง 14 พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 26.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 31.53 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ปรากฏผลดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

การทดสอบ	n	$\bar{X}$	S.D	t	df	p
ก่อนเรียนบทปฏิบัติการ	40	27.28	4.68	42.82*	39	.000
หลังใช้บทปฏิบัติการ	40	32.45	4.50			

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

จากตาราง 15 พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 27.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการเท่ากับ 32.45 ดังนั้นจึงสรุปได้ นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.3 การศึกษาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ปรากฏผลดังตาราง 16

ตาราง 16 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

การทดสอบ	n	$\bar{X}$	SD	t	df	p
ก่อนเรียน	40	3.52	0.45	6.53*	39	.000
หลังเรียน	40	4.08	0.52			

*t (.05; df 39) = 1.684

จากตาราง 16 พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 3.52 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 4.08 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน เดิมเด็กมีเจตคติสูงอยู่แล้ว หลังเรียนเจตคติเด็กยิ่งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ โดยมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย และอนุภาคแขวนลอย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นสามารถสรุปสาระสำคัญ และผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ในรูปของการลดปริมาณสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยในน้ำเสีย

2. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ให้มีคุณภาพระดับดี และมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

3. เพื่อนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยศึกษาผลการเรียนรู้ ดังนี้

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

3.3 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำก่อน-หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

สมมติฐานของการวิจัย

1. คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

2. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อน (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

3. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

4. นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน (เกษม สาหร่ายทิพย์. 2540)

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนได้ดำเนินการ ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

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

2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนให้อยู่ในสภาวะคงที่

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำในคลองรับน้ำทิ้งรวมจากอาคารอำนวยการ อาคารหอสมุด อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน และอาคารสโมสรนิสิต บริเวณจุดเตาเผาขยะของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใดๆ มาก่อน

2.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพ จะทำการเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบให้อยู่ในภาวะคงที่ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง สัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมจำนวนทั้งหมด 24 ตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมัน และไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย จะเก็บตัวอย่างรวมทั้งหมด 2 จุด คือ

จุดที่ 1 น้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยการเติมออกซิเจนในน้ำเสีย

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการจะกระทำภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บน้ำตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว

2.4 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ

2. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนานวัตกรรม

3. นำผลการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการ และการพัฒนานวัตกรรมมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย โดยผ่านการตรวจพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ และทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มทดลอง จำนวน 3 ครั้ง คือ 3 คน 9 คน และ 30 คน พร้อมกับหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นและผ่านการหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ไปทดลองสอนจริงกับกลุ่มตัวอย่าง

1. นำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2. ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

3. ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

4. ศึกษาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน วิเคราะห์ข้อมูลโดยการพรรณนาข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

2. การพัฒนาบทปฏิบัติการ 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 หาความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร 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 หาความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 197-198)

3.3 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

3.3.1 กำหนดประเด็น เก็บข้อมูลกับนักเรียน จำนวน 100 คน

3.3.2 หาดัชนีความสอดคล้อง (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 73)

3.3.3 หาความเชื่อมั่นโดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α - coefficient) โดยใช้สูตรของครอนบัค โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

4. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

4.1 สมมติฐานในการวิจัย “คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด” ทดสอบโดยใช้สถิติพรรณนา ในการพรรณนาข้อมูลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

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

4.3 สมมติฐานการวิจัย “นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน” ทดสอบโดยใช้สถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

4.4 สมมติฐานการวิจัย “นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน” ทดสอบโดยใช้สถิติแบบ t - test Dependent Sample ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for Windows

สรุปผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

1.1 ค่าอุณหภูมิ จากการวิจัย พบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.93 องศาเซลเซียส ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.81 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าอุณหภูมิของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 0.12 องศาเซลเซียส ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดก่อนและหลังการบำบัดมีค่าตามมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุณหภูมิ มีค่าไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้น จึงสรุป ได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้

ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุสาหกรรม ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการวิจัย พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน จุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.43 ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.10 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.67 ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาไม่ได้เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งความเป็นกรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 5.5-9 พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ระหว่างเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.3 ค่าดีโอ จากการวิจัย พบว่า ค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดีโอของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.53 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งดีโอมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ. 2529 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.4 ค่าบีโอดี จากการวิจัย พบว่า ค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 18.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าบีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 6.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 26.50 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งบีโอดีมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.5 ค่าซีโอดี จากการวิจัย พบว่า ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 120.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าซีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 40.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 25.11 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งซีโอดีมีค่าไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.6 ค่าน้ำมันและไขมัน จากการวิจัย พบว่า ค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 12.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 37.56 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งน้ำมันและไขมันมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.7 ของแข็งแขวนลอย จากการวิจัย พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในจุดที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 28.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 14.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมมีค่าร้อยละ 37.71 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ที่กำหนดว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของแข็งแขวนลอยมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2. การพัฒนาบทปฏิบัติการ

2.1 ด้านคุณสมบัติของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัย พบว่า ในส่วนของเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) บทปฏิบัติการ เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถาม

ท้ายบทปฏิบัติการ และคู่มือประกอบบทปฏิบัติการมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ทั้งนี้ เนื่องจากได้ผ่านการศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มาตรฐานการเรียนรู้ช่วงชั้นที่ 3 และผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ มีการปรับปรุงแก้ไขให้มีความสอดคล้องกัน

2.2 ด้านประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัย พบว่า บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการดังกล่าวมีคุณภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

3. การทดลองสอน

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 26.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 32.53 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ผลการวิจัย พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน และหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 27.28 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 32.45 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.3 เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำก่อนเรียน และหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 3.52 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการ เท่ากับ 4.08 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

การอภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยครั้งนี้ เสนอตามลำดับผลการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. อภิปรายผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 โดยวัดได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1.1 ค่าอุณหภูมิ

การบำบัดค่าอุณหภูมิของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 0.38 สามารถลดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยได้ 0.12 องศาเซลเซียส ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.93 องศาเซลเซียส เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 30.81 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เป็นผลเนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนแล้วมีกิจกรรมในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลง ประกอบกับในการวิจัยมีการไหลเวียนของน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและเกิดการระเหยได้ดี ส่งผลให้อุณหภูมิค่าลดลง (Young and McCarty. 1962: 151) สอดคล้องกับสนองทองปาน (2540: 198) กล่าวว่า น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลง ทำให้อุณหภูมิของน้ำมีค่าลดลงด้วย

1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การบำบัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 10.41 สามารถเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยได้ 0.67 ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.43 เพิ่มค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 7.10 เป็นผลเนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลงทำให้สภาวะความเป็นกรด-ด่างลดลง (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525: 24) เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (สุรพล สายพานิช. 2538: 195) จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดจึงต่ำกว่าหลังการบำบัด สอดคล้องกับเกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539: 139) กล่าวว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งก๊าซดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) นอกจากนี้การเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียจะทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนในน้ำเสียได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O)

1.3 ค่าดีโอ

การบำบัดค่าดีโอของน้ำเสียมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 28.53 สามารถเพิ่มค่าดีโอเฉลี่ยได้ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจาก การเติมอากาศให้กับน้ำเสียทำให้ปริมาณออกซิเจนมีเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติความสกปรกของน้ำจึงลดลง ประกอบกับในการวิจัยมีการไหลเวียนของน้ำโดยการทำงานของเครื่องเติมอากาศ และค่าอุณหภูมิที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานส่งผลให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้ดีประสิทธิภาพในการบำบัดจึงมีค่าร้อยละ 28.53 สอดคล้องกับ สนอง ทองปาน (2540: 50) กล่าวว่า อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีผลทำให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง

1.4 ค่าบีโอดี

การบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 26.50 สามารถลดค่าบีโอดีเฉลี่ยได้ 6.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.62 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 18.83 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจากบีโอดีเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสกปรกของน้ำว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งก่อนบำบัดมีค่าที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดแสดงว่าน้ำจากอาคารต่างๆ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์รักษ์ มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก เมื่อนำน้ำดังกล่าวผ่านกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนทำให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้ค่าบีโอดีหลังการบำบัดลดลงคุณภาพน้ำจึงดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ บัญจรัตน์ โจลานันท์ (2538: 79) ที่ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบ Aerobic packed bed ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร พบว่า ประสิทธิภาพการลดค่า COD, BOD และ SS ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง เท่ากับร้อยละ 93.72, 98.72 และ 97.07 ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิทย์ วรรณประดิษฐ์ (2543: 54) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟิกส์เบดแอเรชั่นสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีสามารถลดค่า BOD ในน้ำเสียให้มีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.5 ค่าน้ำมันและไขมัน

การบำบัดค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 37.56 สามารถลดค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยได้ 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.70 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 12.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อกระบวนการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสียมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลงด้วย (อรรถวุฒิ อิ่มพูลทรัพย์ และคณะ. 2536: 49) นอกจากนี้ค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียหลังการบำบัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อนบำบัดมีปริมาณไม่สูงมากนัก สังเกตได้จากปริมาณน้ำมันและไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจับตัวอยู่อย่างไม่หนาแน่น จากการตรวจวิเคราะห์ในจุดที่ 1 พบว่า มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เพราะว่าน้ำเสียของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรีวิโรฒ องครักษ์ มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ได้แก่ อาคารอำนวยการ อาคารหอสมุด อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการพื้นฐาน ซึ่งมีการปล่อยน้ำมันและไขมันในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่น้ำมันและไขมันมาจากอาคารสโมสรนิสิต เนื่องจากเป็นโรงอาหารของนิสิตภายในมหาวิทยาลัยจึงมีการชะล้างสิ่งสกปรกโดยเฉพาะไขมันและน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ

1.6 ค่าของแข็งแขวนลอย

การบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 37.71 สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยได้ 14.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.61 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 28.91 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจากการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติทำให้น้ำที่ผ่านระบบบำบัดมีคุณภาพสูงขึ้น

จากเหตุผลข้างต้นส่งผลให้ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

ส่วนการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี มีประสิทธิภาพร้อยละ 25.11 ไม่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอยให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ได้ จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งผู้วิจัยจะเสนอผลการอภิปราย ดังนี้

1.7 ค่าซีโอดี

การบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียมีประสิทธิภาพร้อยละ 25.11 สามารถลดค่าซีโอดีเฉลี่ยได้ 40.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161.04 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือค่าที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 120.61 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลเนื่องจาก ซีโอดีเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียทั้งประเภทที่ย่อยสลายได้ย่อยสลายได้ช้า และย่อยสลายไม่ได้โดยจุลินทรีย์ (สุรัสวดี บุบผะเรณู. 2542: 23) รวมถึงสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำเสียซึ่งบีโอดีไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากบีโอดีสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์เท่านั้น ซีโอดีจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียอีกค่าหนึ่งซึ่งวัดในรูปของออกซิเจนที่ละลายในน้ำเช่นเดียวกับบีโอดี (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2525: 45) ต่างกันที่บีโอดีใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ซีโอดีใช้ตัวเติมออกซิเจน ได้แก่ โพแทสเซียมไดโคเมตในการย่อยสลาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

จากการอภิปรายผลการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าของแข็งแขวนลอย มีค่าร้อยละ 0.38, 10.41, 28.53, 26.50, 25.11, 37.56 และ 37.71 ตามลำดับ เนื่องจากการเติมออกซิเจนลงในน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานและใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้องกับแนวคิดของ กัลยา หรรษภิญโญ (2539: 5) กล่าวว่า สารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria)

2. อภิปรายผลการพัฒนาบทปฏิบัติการ

2.1 ด้านคุณสมบัติของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการดังกล่าวโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ปรากฏว่า โดยภาพรวมคุณภาพของบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดี ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นได้คำนึงถึงความสอดคล้องในส่วนที่เกี่ยวกับเนื้อหาในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังคำนึงถึงความเหมาะสมของการทดลอง เพราะนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีทักษะการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ตั้งแต่ช่วงชั้นที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการทดลองไม่มากนักเหมาะสมกับระดับชั้นที่ใช้ในการเรียนการสอน

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นแต่ละบทประกอบด้วยชื่อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ หลักการ จุดประสงค์ สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการซึ่งทุกองค์ประกอบมีความเหมาะสม ชัดเจน มีความต่อเนื่องสัมพันธ์กันช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการคิดแล้วนำไปปฏิบัติทีละขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งบทปฏิบัติการดังกล่าวที่พัฒนาขึ้นเป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนที่เน้นการทดลอง ซึ่งสามารถจูงใจให้นักเรียนสนใจในกิจกรรมปฏิบัติการทดลอง เห็นได้จากบทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และใช้กระดาษยูนิเวอร์ซันวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับสภาพการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (สุดใจ เหง้าสีไพร. 2547: 286) ซึ่งรูปแบบของบทปฏิบัติการเน้นการทดลองเป็นหลักโดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงภายใต้คำแนะนำ และการให้คำปรึกษาของครูผู้สอนส่งผลให้กิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ สอดคล้องกับแนวคิดของอารมณ์ บุญเชิดฉาย (2549: 64) กล่าวไว้ว่า การปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองเป็นกลุ่มตามความสนใจ โดยมีครูเป็นผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุน อำนวยให้กิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินไปด้วยความราบรื่น นักเรียนรู้จักรับผิดชอบในหน้าที่ตามที่ได้รับมอบหมาย เสริมสร้างศักยภาพของตนเอง สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชนและท้องถิ่นได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์ (2545: 70) กล่าวว่า สภาพการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันเกี่ยวกับหลักสูตรท้องถิ่น นักเรียนสามารถถ่ายโยงความรู้ที่ได้จากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเอง

ครอบครัว บุคคลใกล้เคียง และชุมชนต่อไป เพราะบทปฏิบัติการที่ใช้จะเป็นการวัดคุณภาพของแหล่งน้ำในชุมชน ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ทำชุดบำบัดน้ำเสียที่นำมาสอนนักเรียนเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากวัสดุเหลือใช้และมีอยู่ในท้องถิ่นของนักเรียน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีคุณภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้จัดการเรียนการสอนอยู่ในระดับดี

2.2 ด้านประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด ซึ่งผลการวิจัยข้างต้นเป็นค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของคำถามท้ายบทปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 80.26 และค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยหลังใช้บทปฏิบัติการจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 80.71 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีข้อมูลพื้นฐานมาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยผู้วิจัยได้คำนึงถึงความเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบกิจกรรม ระยะเวลาในการปฏิบัติการทดลอง ตลอดจนความแตกต่างระหว่างบุคคล (ธีระพล อรุณะกสิกร และคณะ. 2543: 23) เห็นได้จากการจัดกลุ่มนักเรียนในการปฏิบัติกิจกรรมมีการคละทั้งเด็กนักเรียนที่มีผลการเรียนเก่ง ปานกลาง และอ่อน และความพร้อมในการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียนที่ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้ผู้เรียนเกิดจิตสำนึกในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม ตระหนัก และเห็นคุณค่าของทรัพยากรในท้องถิ่น ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้น สนใจ และมุ่งมั่นทำให้การทดลองดำเนินไปได้ด้วยดี ผลการทดลองมีความถูกต้อง แม่นยำ และมีข้อผิดพลาดน้อย (พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. 2544: 56)

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นคำนึงถึงสภาพและปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน นักเรียนได้สัมผัสและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยใช้ประสาทสัมผัส ไม่ว่าจะเป็นการใช้จมูกเพื่อดมกลิ่น การใช้สายตาเพื่อดูสีและตะกอนของน้ำ เป็นต้น สามารถเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด เสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้เกิดกับผู้เรียน สอดคล้องกับ ภพ เลาหไพบูลย์ (2542: 168) กล่าวว่า การจัดกิจกรรมการทดลองทำให้นักเรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสมาช่วยในการแก้ปัญหาเป็นการเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจอย่าง ถ่องแท้ และจดจำได้นาน นอกจากนี้การที่นักเรียนได้บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ ในบทปฏิบัติการที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ นักเรียนใช้วิธีทางกายภาพด้วยการใช้ถังดักไขมัน และทางชีวภาพคือการใช้เครื่องเติมอากาศลงไปในน้ำ แล้วนำมาเปรียบเทียบ ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของการบำบัดน้ำเสีย ปลูกฝัง

ค่านิยมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มีจิตสำนึกในการดูแลรักษา มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบปัญหาร่วมกัน สอดคล้องกับ บัณฑิต ดุลยรักษ์ (2542: 32) กล่าวว่า การจัด การศึกษาเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเรื่องสิ่งแวดล้อม ปัญหาสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมให้ผู้เรียนเกิดทัศนคติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม มีจิตสำนึก มีความตระหนักร่วมมือกันอนุรักษ์และพัฒนาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืน

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบแก้ไข และผ่านการตรวจพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญในส่วนของเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) บทปฏิบัติการ เอกสารรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง ซึ่งผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดี จากนั้นผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการดังกล่าวไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551 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 และทดสอบผลการเรียนรวมทั้งสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรมผู้เรียน แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 และครั้งสุดท้ายทดลองสอนกับนักเรียน 30 คน 6 กลุ่ม เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80

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

3. อภิปรายผลการทดลองสอน

3.1 นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งผลการประเมินอยู่ในระดับดี อีกทั้งได้ผ่านการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการซึ่งมีค่า 80.26/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด และมีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อยู่ตลอดเวลาเพื่อความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน สอดคล้องกับแนวคิดของประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์ (2545: 71) กล่าวว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ และคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีประกอบกับมีการพัฒนา และปรับปรุงบทปฏิบัติการก่อนนำไปสอนจริงส่งผลให้บทปฏิบัติการดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสอนได้

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นผู้วิจัยได้จัดให้นักเรียนปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน ซึ่งเป็นไปตามลักษณะและคุณสมบัติของผู้เรียนโดยคละกันระหว่างนักเรียนที่มีความสามารถแตกต่างกันในด้านของผลการเรียนแต่ละวิชา (เก่ง ปานกลาง และอ่อน) ทำให้นักเรียนได้มีโอกาสวางแผนการทำงานร่วมกัน ปรึกษาหารือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายใต้กรอบการทำงานอย่างมีระบบ สอดคล้องกับ สุดใจ เหง้าสีไพร (2547: 284) กล่าวว่า การสอนแบบกลุ่มนั้นทำให้ผู้เรียนเกิดความคุ้นเคยกับสมาชิกในกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนทัศนะ พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ฝึกการเป็นผู้นำ ผู้ตามที่ดี มีความรับผิดชอบในหน้าที่ที่ตนเองได้รับมอบหมาย ส่งเสริมความร่วมมือที่ดีไม่ส่งเสริมให้มีการแข่งขันอันนำมาซึ่งผลประโยชน์ร่วมกัน จากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่า ในขณะที่นักเรียนปฏิบัติการทดลองนักเรียนที่เก่งกว่าจะคอยให้คำแนะนำ เช่น การใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างถูกต้องและเหมาะสม และช่วยเหลือต่อสมาชิกภายในกลุ่มซึ่งเป็นนักเรียนที่อ่อนกว่าเป็นระยะส่งผลให้กิจกรรมการทดลองดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง สมาชิกทุกคนภายในกลุ่ม สมาชิกภายในกลุ่มมีความกระตือรือร้นกับงานที่ได้รับมอบหมาย นักเรียนแต่ละคนทำหน้าที่ของตนเองอย่างเต็มความสามารถ เกิดความสัมพันธ์ที่ดีภายในกลุ่ม มีความภาคภูมิใจในผลงาน เข้าใจเนื้อหาของกิจกรรมการทดลองเป็นอย่างดี มีจิตสาธารณะยอมรับจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอันนำมาซึ่งการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้เกิดขึ้นอย่างเต็มความสามารถ เห็นได้จากการร่วมกันอภิปรายผลหลังการปฏิบัติการทดลอง นักเรียนจะนำเสนอผลงานตามข้อมูลการทดลองและยอมรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันของนักเรียน การเรียนการสอนที่เน้นเรื่องสิ่งที่อยู่รอบตัวทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงผ่านการลงมือปฏิบัติ สอดคล้องกับแนวคิดของ จำรัส อินทลาภาพร (2545: 127) กล่าวว่า การศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติการทดลองทำให้เกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง สามารถนำผลการเรียนรู้ที่ได้รับถ่ายทอดสู่สาธารณะชนในเชิงสร้างสรรค์ สอดคล้องกับ ประเวศ วะสี (2544: 10) กล่าวว่า การจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้กับผู้เรียนนั้นควรเป็นเรื่องใกล้ตัวเพื่อให้นักเรียนสามารถมองเห็นปัญหา สังเกตได้จากนักเรียนบางคนประดิษฐ์ถังดักไขมันเพื่อนำกลับไปใช้ที่บ้านหลังจากเรียนบทปฏิบัติการที่ 5 การอนุรักษ์น้ำ และประยุกต์ผลการเรียนรู้ไปใช้ในชีวิตจริงประกอบกับบทปฏิบัติการดังกล่าวมีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียนและมีรูปแบบกิจกรรมที่แปลกใหม่ ซึ่งไม่เพียงแค่ผู้สอนเป็นผู้กำหนดรูปแบบกิจกรรมให้เท่านั้น นักเรียนซึ่งถือเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ยังมีโอกาสแสดงออกถึงความคิด เห็นได้จากหลังจากทดลองทุกครั้งนักเรียนจะร่วมกันสรุป อภิปรายผลการทดลอง มีอิสระในการตัดสินใจถึงแบบแผนปฏิบัติการทดลองตามแบบเฉพาะของแต่ละกลุ่มภายใต้ระเบียบวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพราะทุกครั้งที่นักเรียนได้เอกสารบท

ปฏิบัติการ นักเรียนจะร่วมกันวางแผนเพื่อทำการทดลองให้เหมาะสมกับเวลา และความเข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีการบำบัดน้ำเสีย ก่อให้เกิดความหวงแหน เห็นคุณค่า และตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นการสนับสนุนสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

3.2 นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนที่เนื้อหาในแต่ละบทปฏิบัติการมุ่งให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ทำการทดลองจริงอย่างเป็นระบบ และมีกระบวนการอย่างต่อเนื่อง แต่ละบทปฏิบัติการมีความสอดคล้องกันอย่างเป็นระบบ มีการปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่มทำให้นักเรียนได้ร่วมมือกัน รู้จักแบ่งงานกันทำทั้งในด้านการวางแผนการทดลอง และการปฏิบัติการทดลอง (พรยมล บัวคีรี. 2546: 104) ตลอดจนการนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน นักเรียนทุกคนต่างมีส่วนร่วมในการเสนอความคิดเห็นในแต่ละบทปฏิบัติการ การมีส่วนร่วมดังกล่าวส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ภายในกลุ่ม ให้เกียรติซึ่งกันและกัน มีอิสระในการแสดงความคิด มีความกล้าแสดงออกในการปฏิบัติกิจกรรม สร้างความเชื่อมั่นให้เกิดกับเพื่อนนักเรียน ส่งเสริมความรับผิดชอบในหน้าที่ซึ่งได้รับมอบหมายให้ประสบผลสำเร็จอันนำมาซึ่งประโยชน์ร่วมกันภายในกลุ่ม ฉะนั้น นักเรียนทุกคนจึงมีความสำคัญ และมีความเสมอภาคในการปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง เพราะในแต่ละบทปฏิบัติการจะมีกิจกรรมแยกย่อย ซึ่งนักเรียนทุกคนในกลุ่มจึงมีโอกาสลงมือปฏิบัติการทดลอง แม้ว่านักเรียนบางคนจะยังไม่เคยมีประสบการณ์ในการปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์แต่ก็ต้องพยายามศึกษา ค้นคว้า และฝึกปฏิบัติเพื่อให้เกิดความรู้ ความชำนาญ และมีพัฒนาการในแนวโน้มที่ดีขึ้นจนสามารถดำเนินกิจกรรมการทดลองด้วยตนเองได้

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนที่มีการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีการวางแผน และกำหนดเป้าหมายการทดลองอย่างเป็นระบบ ทำให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมด้วยความมุ่งมั่น และตั้งใจอย่างเต็มศักยภาพส่งผลให้ได้มาซึ่งความรู้ความสามารถ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับแนวคิดของ นันทยา ใจตรง (2548: 147) กล่าวว่า การเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ดีต้องเริ่มต้นจากการวางแผนกระบวนการทางความคิดให้เข้าใจแล้วจึงสะท้อนออกมาทางความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง สังเกตได้จากทุกบทปฏิบัติการนักเรียนแต่ละกลุ่มจะมีการปรึกษาเพื่อวางแนวทางการทดลองให้ประสบผลสำเร็จ นอกจากนี้การได้รับความช่วยเหลือ และกำลังใจในการปฏิบัติการทดลอง

จากสมาชิกภายในกลุ่ม ตลอดจนคำแนะนำและการชมเชยของผู้สอนส่งผลให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการปฏิบัติการทดลองให้ประสบผลสำเร็จ ทำให้ผู้เรียนทราบถึงระดับความสามารถของตนเองว่ามีอยู่ในระดับใดซึ่งสามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งยังเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง (จิรพรรณ์ ทะเขียว. 2543: บทคัดย่อ) นอกจากนี้การนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียนซึ่งผู้เรียนต้องปรึกษาหารือ ระหว่างนักเรียนภายในกลุ่ม และแสดงความคิดเห็นร่วมกันทำให้เกิดการถ่ายทอดประสบการณ์ที่ได้รับจากการปฏิบัติการทดลองส่งผลให้สมาชิกภายในกลุ่มเกิดการเรียนรู้ ในเนื้อหาเรื่องการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น ลดช่องว่างความแตกต่างระหว่างบุคคลทั้งในด้านความรู้ และทักษะกระบวนการของสมาชิกภายในกลุ่ม ขณะที่เสนอผลการทดลองสมาชิกแต่ละกลุ่มสามารถแสดงความคิดเห็นที่แตกต่างและซักถามในประเด็นที่เป็นข้อสงสัยต่อกลุ่มนักเรียนที่นำเสนอ โดยครูผู้สอนจะเป็นผู้สรุปประเด็นต่างๆ และคอยกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มมีส่วนร่วมกับกิจกรรมการเรียนการสอนให้มากที่สุดและสรุปเนื้อหาที่สำคัญร่วมกับผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์อย่างต่อเนื่อง

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีขั้นตอนการสอนที่ช่วยให้นักเรียนฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่การวางแผนการทดลอง การลงมือปฏิบัติการทดลอง การบันทึกและสรุปผลการทดลอง และการตอบคำถามท้ายการทดลอง ทำให้นักเรียนเกิดประสบการณ์ตรงจากการปฏิบัติส่งผลให้เกิดการสั่งสมพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านต่างๆ อันนำไปสู่การพัฒนาความคิด และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จนสามารถแสดงออกได้โดยอัตโนมัติ เห็นได้จากการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน เช่น ดรอปเปอร์ กระบอกตวง และบิ๊กเกอร์ เป็นต้น นักเรียนเหล่านั้นสามารถใช้อุปกรณ์การทดลองในรายวิชาอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับแนวความคิดของ อรอุมา ละมุล (2541: 122) กล่าวว่า ขั้นตอนของการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนสูงขึ้น เพราะได้รับการฝึกปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอจนเกิดความคล่องแคล่วและชำนาญ ด้วยเหตุนี้ทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ด้านการสังเกต การวัด การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การทดลองมีแนวโน้มในการพัฒนาอย่างเป็นระบบ สังเกตได้จากนักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้อย่างถูกต้องและคล่องแคล่วในส่วนท้ายของบทปฏิบัติการ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นการสนับสนุนสมมติฐานข้อที่ 3 ที่ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

3.2 นักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

ประการแรก บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเน้นให้นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมจริง เรียนรู้จากสิ่งรอบตัว และสามารถนำไปประยุกต์ในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ได้ นักเรียนทราบถึงวิธีการตรวจคุณภาพน้ำ ซึ่งทำให้นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างน้ำที่ชัดเจนและมีเหตุมีผล ส่งผลให้เห็นคุณค่าและความสำคัญของน้ำมากขึ้น อันนำไปสู่การพัฒนาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดของ ขวัญจิต เกี่ยวพันธุ์ (2541: 40) กล่าวว่า เจตคติเป็นการปลูกฝังหรือพัฒนาความรู้สึกซาบซึ้งต่อสิ่งแวดล้อม การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านความรู้สึก อารมณ์ จำเป็นที่จะต้องสอดแทรกการปฏิบัติในทุกกิจกรรม ทุกโอกาสเท่าที่จะทำได้ แม้ว่าพฤติกรรมต่างๆ จะไม่เกิดขึ้นทันทีทันใดก็ตามแต่ในเวลาข้างหน้าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเป็นไปตามที่มุ่งหวังจะเป็นการส่งเสริมและพัฒนาเจตคติได้

ประการที่สอง บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ทำให้นักเรียนเกิดการอยากรู้ อยากเห็น กระตือรือร้นในการทำงาน และพยายามทำงานให้ดีที่สุด ประกอบกับเนื้อหาในบทปฏิบัติการเน้นกิจกรรมให้นักเรียนได้ออกไปทำกิจกรรมนอกห้องเรียน ไม่ว่าจะเป็นการออกไปเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังโรงเรียน การทดลองความแตกต่างระหว่างน้ำเสียกับน้ำดีที่ผ่านการบำบัดโดยธรรมชาติที่สนามฟุตบอล เป็นต้น ทำให้นักเรียนเกิดความสนุกสนาน (จันทร์จิรา จูมพลหล้า. 2546: 116) ได้สัมผัสถึงคุณค่าที่แท้จริงของทรัพยากรน้ำ สามารถนำข้อมูล ความรู้ไปสื่อสาร และประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สอดคล้องกับคณะกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ (2525: 57-58) กล่าวว่า การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกประสบการณ์การเรียนรู้อย่างเต็มที่โดยเน้นวิธีการเรียนรู้จากการทดลอง การลงมือปฏิบัติจะช่วยพัฒนาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำได้ในเวลาเดียวกัน

ประการที่สาม บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เป็นการเสนอสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบันรวมทั้งแนวคิดในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ ผู้เรียนนอกจากจะได้ความรู้จากเนื้อหากิจกรรมผ่านกระบวนการคิด วิเคราะห์ แก้ปัญหา และลงมือปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน ในการลงมือปฏิบัติในแต่ละชุดการทดลอง การมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นถ่ายทอดความรู้สึกซึ่งกันและกันในการร่วมกันสรุปอภิปรายผลการทดลองหน้าชั้นเรียน ยังเป็นการเสริมสร้างเจตคติที่ดีต่อผู้เรียนให้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของ สุดฤทัย มุขยวศา (2533: 7) กล่าวว่า เจตคติเป็นสภาพทางอารมณ์ ความรู้ ความรู้สึก และความคิดซึ่งนักเรียนจะแสดงออกในลักษณะของความพึงพอใจ สอดคล้องกับแนวคิดของ นฤมล เลียบสวัสดิ์ (2545: 60) การที่ผู้เรียนได้เข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ ทุกคนมีโอกาสได้แสดงความคิดเห็น เสนอข้อมูลความรู้ที่ตนเองมีอยู่ให้เพื่อนๆ ได้รับรู้ ช่วยกันแก้ปัญหา รวบรวมข้อมูลใช้จินตนาการ และความคิดสร้างสรรค์ทำให้การเรียนการสอนเป็นไปด้วยความสนุกสนาน เพลิดเพลิน ทุกคนได้มีส่วนร่วมและเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมต่างๆ โดยตลอด สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้ผู้เรียนมีเจตคติทางบวกในการเรียนเพิ่มมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นการสนับสนุนสมมติฐานข้อที่ 4 ที่ว่านักเรียนที่ใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

1.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1.1 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศไปใช้ควรคำนวณปริมาตรน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดให้มีค่าพอดีกับขนาดของเครื่องเติมอากาศ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บน้ำเสียเพื่อให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจนเสร็จสิ้นกระบวนการ

1.1.2 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศไปใช้กับน้ำทิ้งที่ผ่านระบบควรทำการบำบัดต่อเนื่องในระบบต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้มากยิ่งขึ้นก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

1.1.3 การนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศไปใช้ควรมีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพก่อน เช่น การใช้ถังดักไขมันหรือใช้ตะแกรงกรองน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด และลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบ

1.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1.2.1 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศที่ระดับที่แตกต่างกันของน้ำภายในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

1.2.2 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศเปรียบเทียบกันในฤดูกาลต่างๆ จะทำให้ทราบความแตกต่างของการบำบัดในแต่ละฤดูกาล

1.2.3 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศโดยเปลี่ยนชนิดของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เช่น น้ำเสียจากโรงงาน น้ำเสียจากบ้านเรือน เป็นต้น เพื่อดูประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำบทปฏิบัติการไปทดลองสอน

2.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

2.1.1 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้ในการเรียนการสอนครูผู้สอนควรศึกษาและทำการทดลองด้วยตนเองจนเกิดความชำนาญ เพื่อให้การสอนนักเรียนประสบผลสัมฤทธิ์สูงสุด

2.1.2 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้ในการเรียนการสอนอาจปรับกิจกรรมหรือเวลาที่ใช้ให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของนักเรียน และสถานที่ที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรม เช่น การทดลองนอกห้องเรียน หรือลงมือปฏิบัติการทดลองที่ต้องใช้ความคล่องตัว อาจปรับให้ตรงกับวันที่มีชั่วโมงพละ

2.1.3 การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปใช้โดยครูผู้สอนหรือผู้ที่สนใจควรศึกษารายละเอียดของบทปฏิบัติการ และศึกษาเพิ่มเติมจากคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการเพื่อจะได้ให้คำแนะนำนักเรียนได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพในการเรียนการสอนมากยิ่งขึ้น

2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.2.1 ควรศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย กับตัวแปรอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการ และจิตวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.2.2 ควรนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นต่างๆ หรือโรงเรียนที่มีความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทด้านสิ่งแวดล้อมของโรงเรียน

2.2.3 ควรนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ไปทดลองใช้เป็นแนวทางในการทำโครงงานสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น หรือโครงงานสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เช่น โครงงานที่เกี่ยวกับมลพิษขยะ โครงงานที่เกี่ยวกับมลพิษด้านอากาศ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2537). คู่มือผู้ให้บริการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย เล่มที่ 4 ใน *โครงการจัดทำคู่มือดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียและการใช้มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร*. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

กรมวิชาการ. (2543). *การจัดกิจกรรมชุมนุมภาษาอังกฤษ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของเด็กไทย*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ.

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

กรรณิการ์ สิริสิงห. (2525). *เคมีน้ำโสโครกและการวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์การพิมพ์.

กรรณิกา ไผทฉันท์. (2541). *ผลการใช้ชุดกิจกรรมสิ่งแวดล้อมตามวิธีวิจัยในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมในกิจกรรมชุมนุมวิทยาศาสตร์*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภา.

กัลยา หรรษภิญโญ. (2539). *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยวิธีชั้นตัวกลางอัดบรรจุไร้อากาศ*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

กานต์รวี ใจงาม. (2545*). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การผลิตแก๊สโซฮอล์ในท้องถิ่น*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). *การบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

เกษม จันทร์แก้ว. (2547). *เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษม สาหร่ายทิพย์. (2540). *ระเบียบวิธีวิจัย*. นครสวรรค์: นิวเสรีนคร.

ขวัญจิต เกี่ยวพันธุ์. (2541). *ผลการจัดค่ายวิทยาศาสตร์โดยการสำรวจสิ่งแวดล้อมที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

คณะกรรมการพัฒนาการสอน และผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์. (2525). *ชุดเสริมประสบการณ์สำหรับครูวิทยาศาสตร์*. ทบวงมหาวิทยาลัย.

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538). *การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จันทร์จิรา จูมพลหล้า (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบสารอาหารในเห็ดฏูฐานสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

จำรัช อิทลาภาพร. (2545). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ นมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตรศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

จิรพรรณ์ ทะเขียว. (2543). *การเปรียบเทียบทักษะภาคปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่สอนโดยใช้ชุดกิจกรรมอุปกรณ์วิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครู*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ฉัตรชัย วายุวรระนะ. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง การใช้ประโยชน์จากฟางข้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ชลิตา พันธุ์ออน. (2545). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาหมัก*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ชาติชาย ชายตระกูล. (2548). *การศึกษาประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์. (2525). *การวัดผลการศึกษา*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

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

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

ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์. (2542). *การวัดผลการเรียนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ทบวงมหาวิทยาลัย. (2525). *ชุดการเรียนการสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์.

ทวิช แจ่มจรัส. (2545). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง น้ำสกัดชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น:กรณีศึกษาโรงเรียนบ้านพุน้ำร้อน จังหวัดสุพรรณบุรี*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตรศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และคณะ. (2525). *น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. (2540). *คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธนวรรณ โสมน้อย. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ธีระพล อรุณะกสิกร; และคณะ. (2543). รวบรวม *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542*. กรุงเทพฯ: พิมพ์วิญญูชน.

นันทยา ใจตรง. (2548). *ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยด้านคุณลักษณะทางจิตพิสัยที่ส่งผลต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การวิจัยและสถิติทางการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

นฤมล เลียบสวัสดิ์. (2545). *การเปรียบเทียบความเข้าใจในการอ่านและเจตคติในการเรียนวิชาภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนการอ่านด้วยการฝึกใช้ความรู้เดิมโดยใช้เทคนิคโครงสร้างระดับยอดกับวิธีสอนอ่านตามคู่มือครู*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

บัญจรัตน์ โจลานันท์. (2538). *ประสิทธิภาพของระบบแอโรบิค แบคเก็ตเบค สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

บัณฑิต ดุลยรักษ์. (2542). *กิจกรรมการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษา*. ปัตตานี: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญชม ศรีสะอาด. (2541). *การพัฒนาการสอน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2527). *การวัดและการประเมินผลการเรียนการสอน*. กรุงเทพฯ: บี แอนด์ บี พับลิเคชั่น.

ประเทืองทิพย์ สุกุมลจันทร์. (2545). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การแปรรูปและทดสอบเรื่องสารอาหารในพืชสมุนไพร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย"* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ประภาเพ็ญ สุวรรณ. (2526). *การวัดการเปลี่ยนแปลงและพฤติกรรมอนามัย ครั้งที่ 2*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ประวิตร ชูศิลป์. (2524). *หลักการประเมินผลวิทยาศาสตร์แผนใหม่*. เอกสารการนิเทศการศึกษา ฉบับที่ 233 หน่วยศึกษานิเทศก์. กรุงเทพฯ: กรมฝึกหัดครู.

ประเวศวะสี. (2544). ยุทธศาสตร์สู่ความสำเร็จของการศึกษาไทย. ใน *การปฏิรูปการเรียนรู้*. หน้า 10. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พรยมล บัวคีรี. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง สารและสมบัติของสารสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติกาวิทยาศาสตร์เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2529*). การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

----------. (2530). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ ใน *เอกสารคำสอนวิชาวิจัย 521*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2538). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

----------. (2543). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง เทคนิคการแยกสาร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พิชิต ฤทธิ์จำรูญ. (2545). *หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เฮ้าส์ ออฟ เคอร์มีสท์.

พิษณุ เดชใด. (2540). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาสังคมศึกษาโดยการสอนแบบบูรณาการที่ใช้แทนเทคนิคการพัฒนาแบบยั่งยืน*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ไพฑูรย์ สินลารัตน. (2536). *การศึกษาไทยในอนาคต: ถึงเวลาของการศึกษานำกระแส*. วารสารก้าวไกล. 3(9): 32 -34

ภพ เลาหะไพบูลย์. (2537). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2525).*การออกแบบขั้นตอนกระบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีวภาพ เล่มที่ 2 โมเดลทางจลศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

----------. (2538). เทคนิคการบำบัดน้ำเสีย. ใน *การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย*. หน้า 38-47. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

----------. (2539). *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ1*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

----------. (2542). *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม 1*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมธา โยธาฤทธิ์. (2549). *การพัฒนาชุดปฏิบัติการเรื่องระบบนิเวศป่าชายเลนสำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ระพินทร์ คร้ามมี. (2544). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดอย่างมีเหตุผลเชิงวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาสังคมศึกษาโดยการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิซึมกับการสอนแบบแก้ปัญหา*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

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

----------. (2539). *เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้*. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

----------. (2540). *สถิติวิทยาทางการวิจัย*. พิมพครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

----------. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

----------. (2543). *การวัดด้านจิตพิสัย*. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

วรรณทิพา รอดแรงค้า; และจิต นวนแก้ว. (2532). *กิจกรรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียน*. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพทางวิชาการ

วรวัฒน์ ทิพจ้อย. (2551). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

วิมล สำราญวานิช. (2532*). การสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*. ขอนแก่น: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วินัย วีระวัฒนานนท์. (2546). *สิ่งแวดล้อมศึกษา*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วีรชาติ สวนไพรินทร์. (2531). *การสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระ ตั้งชวาล. (2545). *เคมีของน้ำและการบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศศิธร มงคลทอง. (2548). *การพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่องน้ำเพื่อชีวิตสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพ ฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ศุภพงศ์ คล้ายคลึง. (2548). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะการทดลองโดยใช้ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์*. สารนิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2526). ทักษะ*กระบวนการทางวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สนอง ทองปาน. (2540). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สมเกียรติ แก้วจำรัสสุขสันติ. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานิส และสังกะสี ในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏวลัยอลงกรณ์*. ปริญญาบัณฑิต กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สมจิต สวธนไพบูลย์. (2541). *รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาความสามารถทางการพึ่งพาตนเองด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาจากการเรียนด้วยชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมนึก ภัททิยธนี. (253, กรกฎาคม 2537). *การใช้ตัวเลือกปลายเปิดหรือปลายปิดในข้อสอบแบบเลือกตอบ*. วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยสารคามปีที่ 5, ฉบับที่ 1: 1-6

สมศรี จันทร์รุ่งมณีกุล. (2539). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วย "สิ่งที่อยู่รอบตัวเรา" และเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนตามแนวคิดการพัฒนาแบบยั่งยืน*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การประถมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่า 25. (2545). กรุงเทพฯ: โครงการสารนุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. (2543). *กรอบวิสัยทัศน์ และทิศทางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9*. สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี.

สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. (2545). *สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจละสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545 – 2549*. สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี.

เสริมพล รัตนสุข; และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2525). *การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแหล่งชุมชน*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2549). *ระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: ท้อป

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม 15. (2534). หน้า 173-178.

สุดฤทัย มุขยวงศา. (2533). *ผลของการปรึกษาเชิงจิตวิทยาแบบกลุ่มโดยแนวความคิดแบบพิจารณาความเป็นจริงที่มีต่อนิสัยและทัศนคติในการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.* วิทยานิพนธ์ ค.ม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

สุดใจ เหง้าสีไพร. (2547). *พื้นฐานทางเทคโนโลยีของการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยี ทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุเทพ อุตสาหะ. (2526). *การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา*. มหาสารคาม: ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สารคาม.

สุนีย์ เหมะประสิทย์. (2543*). เอกสารคำสอน ปถ.421 วิทยาศาสตร์สำหรับครูประถม*. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุภาพ วาดเขียน. (2523). *วิธีวิจัยและสถิติทางการวิจัยในศึกษาศาสตร์*.กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สุวัฒก์ นิยมค้า. (2517). *การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด*. กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.

----------. (2531). *ทฤษฎีทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: เจเนอร์รัลบุ๊ค เซนเตอร์.

สุรพล วิหคไพบูลย์. (2543). *การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่องการบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ:

สุรัสวดี บุบผะเรณู. (2542). *การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สุวิมล เขียวแก้ว. (2527). *การสอนวิทยาศาสตร์กับมัธยมศึกษา*. ปัตตานี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

สุวิทย์ วรรณประดิษฐ์. (2543). *ประสิทธิภาพของระบบฟิกส์เบดแอเรชั่นสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2544). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พ.ศ. 2545 - 2549)*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. (2528). *เทคโนโลยีการศึกษา*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

องค์การจัดการน้ำเสีย. (2540). *หลักการจัดการน้ำเสีย*. สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2551, จาก http://www.wma.or.th

องอาจ นัยพัฒน์. (2548*). วิธีวิทยาการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพทางพฤติกรรมศาสตร์ และสังคมศาสตร์.* กรุงเทพฯ: สามลดา.

อดิศักดิ์ นุสิทธิ์. (2543). *การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยระบบเอสบีอาร์.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

อรรถวุฒิ อิ่มพูลทรัพย์; และคณะ. (2536). *รายงานสถานการณ์เรื่อง การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับคราบน้ำมันตามแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

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

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. (2538). เคมีวิทยาของน้ำเสีย ใน *การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย*. หน้า 62-113. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัมพร กรุดวงษ์. (2548*). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง พลังงานความร้อน สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อาจหาญ กันนุลา. (2545). *การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้สารส้ม และระยะเวลาในการกวนเพื่อบำบัดน้ำเสียขั้นต้นทางเคมีของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อาภรณ์ ใจเที่ยง. (2537). *หลักการสอน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

อารมณ์ บุญเชิดฉาย. (2549). *การพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่อง การกำจัดขยะมูลฝอยสำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อโนทัย อุเทนสุต. (2538). *องค์การจัดการน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

Belia, E.; & P.G. Smith. (1997). *The bioaugmentation of sequencing batch reactor*. New York: McKay.

Burchett, Botty M. (1975, February). A Descriptive study of Fourth, Fifth and Sixth Students Attitude Relate to Environment Problems. Dissertation *Abtracts International*. 32: 4439A.

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

Hamada, M.F.; & M.F. Abal-EL-Bary. (1987). Operting characteristics of the Aerated Submerge Fixed-film (ASFF) Bioreactor. *Water Res*. 21 (8): 939-947.

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

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

Triandis, Harry C. (1971). *Attitude and Attitude Chage*. P.3. New York: John Wley and Sons.

Woolard, C.R. (1997). The Advantage of Periodically Operated Biofilm Reactor for the Treatment of the Highly Variable Wastewater. *Water Science and Technology*. 35 (1): 199-206.

Zachor, L. (1975, February). A Study of Factor Affecting the Environmental Knowledge of Eleventh Grade Students in Montana. Doctoral Dissertation, University of Montana, 1974. *Dissertation Abstracts International*. 35 (8): 4883A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน
ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

ตาราง 17 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

วัน เดือน ปี	จุดเก็บน้ำจุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์						
		T (C^{o})	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
3 ส.ค. 51	1	30.7	6.42	4.15	24.31	169.43	17.46	42.35
	2	30.7	6.75	5.32	17.46	114.23	11.42	24.23
5 ส.ค. 51	1	30.9	6.53	4.55	23.73	165.42	16.32	45.43
	2	31	7.12	5.34	16.32	118.61	16.54	28.64
7 ส.ค. 51	1	31	6.67	4.25	28.42	172.23	20.32	50.64
	2	30.6	7.2	5.74	20.32	134.48	13.86	34.45
10 ส.ค. 51	1	30.8	6.89	4.24	25.32	162.42	17.08	43.73
	2	31.1	7.18	5.45	17.08	120.45	11.71	30.45
12 ส.ค. 51	1	31.2	6.2	4.1	33.26	174.52	25.41	54.14
	2	30.6	7.11	5.62	25.41	129.71	16.34	39.71
14 ส.ค. 51	1	30.9	6.24	4.21	28.65	168.61	20.45	44.42
	2	31	7.04	5.48	20.45	129.63	12.89	30.63
17 ส.ค. 51	1	30.9	6.41	4.55	25.32	162.68	19.62	46.62
	2	30.9	7.11	5.54	19.62	121.31	11.51	31.31
19 ส.ค. 51	1	31	6.38	4.59	23.34	156.32	17.94	45.69
	2	30.6	7.04	5.4	17.94	118.67	10.34	28.67
21 ส.ค. 51	1	31	6.37	4.54	29.2	166.7	24.12	48.35
	2	31	7.14	5.92	23.12	120.14	15.57	30.29
24 ส.ค. 51	1	30.9	6.32	4.64	25.23	158.42	20.23	45.26
	2	30.8	7.21	5.89	20.23	121.35	13.54	29.35
26 ส.ค. 51	1	30.9	6.2	4.54	24.21	157.63	18.25	45.76
	2	31	7.04	5.98	18.25	115.68	10.94	25.68

ตาราง 17 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	จุดเก็บน้ำจุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์						
		T (C^{o})	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
28 ส.ค. 51	1	30.8	6.42	4.42	25.32	162.34	18.26	43.62
	2	31	7.08	5.94	18.26	117.63	10.64	27.63
31 ส.ค. 51	1	30.8	6.28	4.27	29.23	167.5	22.42	46.14
	2	30.2	7.08	5.64	22.42	112.71	13.44	32.71
2 ก.ย. 51	1	30.9	6.25	4.22	23.35	167.6	16.43	48.42
	2	30.6	7.04	5.59	16.43	119.63	9.09	29.63
4 ก.ย. 51	1	30.6	6.31	4.45	24.83	161.68	18.63	42.62
	2	30.9	7.21	5.64	18.62	120.3	10.52	30.3
6 ก.ย. 51	1	31.1	6.58	4.56	23.34	154.32	19.34	42.69
	2	30.7	7.04	5.94	13.94	122.67	13.94	32.67
7 ก.ย. 51	1	30.9	6.41	4.15	20.32	149.42	18.42	34.32
	2	31	6.9	5.32	14.4	120.24	12.4	20.29
9 ก.ย. 51	1	30.9	6.43	4.45	20.72	147.41	19.15	32.44
	2	30.9	7.12	5.42	14.33	122.54	11.33	22.54
11 ก.ย. 51	1	30.9	6.68	4.25	22.42	145.22	18.82	31.64
	2	31	7.25	5.27	13.33	110.42	10.33	20.42
14 ก.ย. 51	1	31.2	6.98	4.24	26.32	162.4	20.28	46.74
	2	30.8	7.28	5.55	20.08	119.42	12.87	29.42
16 ก.ย. 51	1	30.9	6.42	4.15	29.35	159.54	23.14	35.24
	2	30.8	7.11	5.74	23.14	121.51	12.31	31.51
18 ก.ย. 51	1	31	6.15	4.41	25.15	158.6	19.45	46.4
	2	30.4	7.14	5.68	19.49	125.23	11.75	35.23
21 ก.ย. 51	1	31	6.31	4.68	23.12	150.18	17.62	38.62
	2	31	7.12	5.82	17.62	121.31	9.52	21.31

ตาราง 17 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	จุดเก็บน้ำจุดที่	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์						
		T (C^{o})	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Oil and Grease (mg/l)	SS (mg/l)
23 ก.ย. 51	1	31	6.38	4.46	30.44	164.32	23.64	45.45
	2	30.9	7.14	5.95	23.64	116.67	12.35	26.67

ภาคผนวก ข

- รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย
- ตัวอย่างสำเนาหนังสือขอความอนุเคราะห์

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

1. อาจารย์ ดร.กัมปนาท บริบูรณ์
   อาจารย์ประจำคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. อาจารย์บุญรอด ชาติยานนท์
   เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
3. อาจารย์ เอกราช ดีนาง
   รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
4. อาจารย์ ศศิพงษ์ ศรีสวัสดิ์
   อาจารย์ประจำหมวดวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
5. อาจารย์ วรวัฒน์ ทิพจ้อย
   อาจารย์ประจำหมวดวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5730

ที่ ศธ 0519.12/1614 **วันที่** 24 ธันวาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสกล ขุขันชิน นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการมัธยมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์" โดยมี อาจารย์ ดร.สนอง ทองปาน และ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์ เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ ดร.กัมปนาท บริบูรณ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถามการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน / แบบทดสอบการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และ บทปฏิบัติการ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสกล ขุขันชิน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5730

ที่ ศธ 0519.12/1165 **วันที่** 24 ธันวาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสกล ขุขันชิน นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาการมัธยมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์" โดยมี อาจารย์ ดร.สนอง ทองปาน และ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐพงษ์ เจริญพิทย์ เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายบุญรอด ชาติยานนท์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถามการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน / แบบทดสอบการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และ บทปฏิบัติการ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสกล ขุขันชิน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างบทปฏิบัติการและคู่มือประกอบบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

คำนำ

บทปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ฉบับนี้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 บทปฏิบัติการนี้เน้นปฏิบัติการทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่ายในท้องถิ่น ซึ่งจะทำให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติจริงโดยหวังว่าจะเกิดจิตสำนึกและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันเพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการจุดประกายให้ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ นำไปใช้เป็นแบบอย่างหรือแนวทางในการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการในท้องถิ่น

ในบทปฏิบัติการนี้มีทั้งหมด 5 บทปฏิบัติการ ในแต่ละบทประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ ชื่อบทปฏิบัติการ ใบความรู้ หลักการ จุดประสงค์ เวลาที่ใช้ สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง แบบรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ได้ทันทีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นปฏิบัติการทดลอง จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในทักษะต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ได้มากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างบทปฏิบัติการที่นำเสนอครั้งนี้เป็นเพียงแนวคิดหรือแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในการปฏิบัติการทดลองเท่านั้น นักเรียน และผู้ที่สนใจสามารถเลือกปฏิบัติตามความสนใจ และความพร้อมของโรงเรียนหรือสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในแต่ละท้องถิ่นได้ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพโรงเรียนของตนเอง และเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตต่อไป

สกล ขุขันธิน

คำแนะนำการใช้บทปฏิบัติการ

การใช้บทปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย มีข้อควรปฏิบัติและทำความเข้าใจ ดังนี้

1. บทปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยอาศัยเนื้อหาจากหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มาตรฐานการเรียนรู้ ช่วงชั้นที่ 4 เรื่องน้ำเสีย เนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสีย มาพัฒนาเป็นแนวคิดในการสร้างบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

2. ระยะเวลาในการเรียนการสอนในบทปฏิบัติการนี้ คือ 10 คาบ คาบละ 50 นาที

3. ผู้เรียนตามบทปฏิบัติการนี้ คือ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

4. ผู้สอนที่จะใช้บทปฏิบัติการนี้ควรเป็นครูที่สอนในวิชาวิทยาศาสตร์

5. บทปฏิบัติการนี้ควรใช้ควบคู่กับคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ

6. ควรดำเนินการเรียนการสอนเรียงลำดับจากบทปฏิบัติการที่ 1 ไปจนถึงบทปฏิบัติการที่ 5 ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการสุดท้าย

7. ในส่วนที่เป็นเนื้อหา และบทปฏิบัติการสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นได้

เนื้อหาของบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการเรื่อง การบำบัดน้ำเสีย พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา 4 ที่เน้นการเรียนการสอนในลักษณะปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย 5 บทปฏิบัติการ คือ

1) บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ
2) บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง ความสำคัญของน้ำ
3) บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย
4) บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
5) บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 1
การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

<u>สาระสำคัญ</u>

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

น้ำเสีย มีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ ธาตุต่างๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็นแต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

3. โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น ปรอท โครเมียม และทองแดงปกติจะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร

4. ไขมันและน้ำมัน เมื่อปนมากับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำทำให้เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชพร้อมทั้งกีดขวางการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ

5. ของแข็ง อาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ซึ่งเมื่อจมลงแล้วทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

6. สี และความขุ่น มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในแหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง สัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

7. ความเป็นกรด-ด่าง น้ำที่มีคุณภาพดีจะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในแหล่งน้ำผิวดินอยู่ในช่วง 5.0-9.0

8. จุลินทรีย์ ถ้ามีจำนวนมากทำให้ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงจนทำให้เกิดการเน่าเสีย

“น้ำเสีย” ตัวอย่างหนึ่งของมลพิษทางน้ำ

(ที่มา; http://web.ku.ac.th)

ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแสดงเป็นตัวเลขที่บอกระดับความเป็นกรดหรือด่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้า pH มีค่าเป็น 7 แสดงว่ามีสภาวะเป็นกลาง ถ้า pH มีค่า 0-6 แสดงว่าน้ำนั้นเป็นกรด ตัวเลขที่ลดลงแสดงถึงความแรงของที่เพิ่มขึ้น ถ้า pH มีค่า 8-14 แสดงว่ามีสภาวะเป็นด่าง ตัวเลขที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงความแรงของด่าง โดยทั่วไป ค่า pH ของน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน มีค่าระหว่าง 5.0-9.0 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่า pH คือ กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

2. อุณหภูมิ แสดงถึงระดับความร้อนของน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดได้จากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงลงสู่แหล่งน้ำหรือการที่แสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำ อุณหภูมิมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยสิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไป และยังส่งผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนจะลดลง ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินต้องมีอุณหภูมิไม่มากกว่า 38 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ คือ เทอร์โมมิเตอร์

3. กลิ่น ในน้ำกลิ่นเกิดจากสาเหตุต่างๆ หลายประการ เช่น จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ มนุษย์รับกลิ่นได้โดยการดมแต่บอกเป็นปริมาณตัวเลขว่ามีกลิ่นมากน้อยเพียงใดนั้น ยังไม่มีวิธีมาตรฐานเพียงแค่กำหนดขีดจำกัดว่าต้องไม่รบกวน และเป็นที่น่ารังเกียจเท่านั้น

4. สี ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มองเห็นนั้นเป็นสีปรากฏมาจากแสงที่ส่องลงในน้ำเกิดการกระจายของแสงโดยโมเลกุลน้ำกลับเข้าสู่ตาเรา การที่ปรากฏสีของแหล่งน้ำเป็นสีต่างกันเพราะอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยในน้ำสามารถดูดกลืนและกระจายแสงกลับคืนสู่ตาคนได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และขนาดของอนุภาคซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำที่สะอาดต้องไม่มีสี

5. ตะกอน คือปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเกิดจากดินละเอียด สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงค์ตอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สารพวกนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายและดูดกลืนแสงซึ่งโดยทั่วไปน้ำสะอาดจะไม่มีการปนเปื้อนของสารดังกล่าว

3. การตรวจสอบกลิ่น ใช้การดมโดยการนำน้ำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ยกขึ้นให้อยู่ในระดับจมูกใช้มือพัดบริเวณเหนือบีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำตัวอย่างเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม

4. การตรวจสอบสี และตะกอน ใช้การสังเกตด้วยสายตาหากเป็นน้ำสะอาดต้องไม่มีสีและตะกอนปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

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

2. การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมมิเตอร์โดยให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์จุ่มอยู่ในสิ่งนั้นหรือสัมผัสกับสิ่งที่จะวัดให้มากที่สุดและก้านของเทอร์โมมิเตอร์ต้องตั้งตรงเมื่อระดับของเหลวที่อยู่ในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว จึงอ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว และเทอร์โมมิเตอร์ยังจุ่มอยู่ในสิ่งที่ต้องการวัด

การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

การตรวจวัดค่าอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

<u>หลักการ</u>

น้ำเสีย คือ น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม กลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการนำมาใช้อุปโภค บริโภค ไม่ได้มีผลกระทบต่อธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของน้ำ สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การสังเกตรวมทั้งการใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่หาได้ง่าย ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น สี กลิ่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และตะกอน เป็นต้น เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะดังกล่าวของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจาก

(ทิมา, วรรัฒน์ ทพีสัย. 2551)

สภาพเดิม และมีค่าต่างจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชน ก็หมายความว่าน้ำนั้นเป็นน้ำเสีย มีสิ่งปนเปื้อนปนอยู่มากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมา

<u>จุดประสงค์</u>

1. นักเรียนสามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
2. นักเรียนสามารถบอกคุณภาพของน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีได้
3. นักเรียนสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

<u>เวลาที่ใช้</u> 2 คาบ (คาบละ 50 นาที)

<u>สารเคมีและอุปกรณ์</u> ต่อ 1 กลุ่ม

1. น้ำกลั่น	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำเสียจากชุมชน	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำในคลอง 16	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำประปา	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำล้างจาน	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. น้ำส้มสายชู	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. น้ำยาล้างห้องน้ำ	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
8. น้ำสบู่	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
9. น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
10. น้ำซักผ้า	100	ลูกบาศก์เซนติเมตร
11. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์	10	แผ่น
12. เทอร์โมมิเตอร์	1	อัน
13. บีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10	ใบ
14. แท่งแก้วคนสาร	1	แท่ง
15. แผ่นกระจก	1	แผ่น
16. กระบอกแก้วตวง ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1	อัน

<u>วิธีการทดลอง</u>

ให้นักเรียนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. นำบีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 10 ใบ นำน้ำกลั่น น้ำเสียจากชุมชน น้ำในคลอง 16 น้ำประปา น้ำล้างจาน น้ำส้มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำสบู่ น้ำจากตู้เลี้ยงปลา

หมายเหตุ มาตรฐานน้ำทิ้งในการทดลองนี้ใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ไม่ใช่น้ำทะเล ประเภท 3 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. พ.ศ. 2529

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 1 **การตรวจสอบคุณภาพน้ำ**

ชื่อผู้ทดลอง 1 ..... 2 .....

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

5 .....

วัน/เดือน/ปี ..... ชื่อกลุ่ม ..... ชั้น .....

จุดประสงค์การทดลอง

1 .....

2 .....

3 .....

<u>ตารางบันทึกผล</u> การสังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน	
	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
น้ำกลั่น						
น้ำเสียจากชุมชน						
น้ำในคลอง 16						
น้ำประปา						
น้ำล้างจาน						
น้ำส้มสายชู						
น้ำยาล้างห้องน้ำ						
น้ำสบู่						
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา						
น้ำซักผ้า						

<u>ตารางบันทึกผล</u> การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ

น้ำตัวอย่าง	ค่ามาตรฐานของน้ำ	
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5-9.0	อุณหภูมิ (°C) ไม่เกิน 38
น้ำกลั่น		
น้ำเสียจากชุมชน		
น้ำในคลอง 16		
น้ำประปา		
น้ำล้างจาน		

น้ำส้มสายชู		
น้ำยาล้างห้องน้ำ		
น้ำสบู่		
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา		
น้ำซักผ้า		

<u>สรุปผลการทดลอง</u>

1. สี .....

.....

2. กลิ่น .....

.....

3. ตะกอน .....

.....

4. ค่า pH .....

.....

5. อุณหภูมิ

.....

.....

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

<u>คำชี้แจง</u> ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. น้ำในข้อใด*<u>ไม่ควร</u>*นำมาใช้บริโภค
   - 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. น้ำในคลอง 16 น้ำสบู่

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 น้ำสบู่

ค. น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำประปา

ง. น้ำซักผ้า น้ำในคลอง 16

6. น้ำชนิดใดมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับน้ำกลั่นมากที่สุด

ก. น้ำซักผ้า

ข. น้ำจากสบู่

ค. น้ำส้มสายชู

ง. น้ำในคลอง 16

7. น้ำทิ้งจากบ้านเรือนส่วนใหญ่มีสิ่งใดเจือปนอยู่

ก. โลหะหนักที่เป็นพิษ

ข. สารละลายผงซักฟอก

ค. จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

ง. น้ำมันจากการปรุงอาหาร

8. “น้ำทิ้งที่มีปริมาณสารเคมีตกค้างอยู่มาก อาจทำให้สัตว์น้ำมีอันตรายถึงชีวิต” จากข้อความดังกล่าวควรใช้เครื่องมือชนิดใดวัด

ก. กระดาษขมิ้น

ข. เทอร์โมมิเตอร์

ค. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน

ง. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

9. การทดสอบน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์โดยวิธีการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ควรปฏิบัติอย่างไร

ก. หย่อนกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ลงไปในบีกเกอร์

ข. ใช้ปากคีบจับกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง

ค. เอียงบีกเกอร์แล้วนำกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ไปแตะที่ปากบีกเกอร์

ง. ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่างแล้วน้ำไปแตะกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก

10. การปฏิบัติตามข้อใดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุด

ก. ให้สมาชิกคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง

ข. ให้สมาชิกหลายคนวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แต่ไม่ต้องนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ค. ให้สมาชิกเพียงคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง

ง. ให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มใช้เทอร์โมมิเตอร์คนละ 1 อัน วัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละคนมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 1

<u>จุดประสงค์การเรียนรู้</u>

1. สามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
2. สามารถบอกคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีได้
3. เปรียบเทียบน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ความรู้ตามรายละเอียดในใบความรู้ (ใช้เวลาประมาณ 20 นาที)

<u>บทปฏิบัติการที่ 1</u> การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยการสังเกต และใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย

<u>จุดประสงค์การทดลอง</u>

1. บอกลักษณะทางกายภาพของน้ำได้
2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างได้
3. สามารถเปรียบเทียบลักษณะของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

<u>เวลาที่ใช้</u>

	อภิปรายก่อนการทดลอง	20 นาที
	ทำการทดลอง	40 นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	30 นาที
	ทำคำถามท้ายบทปฏิบัติการ	10 นาที
	รวม	100 นาที

<u>สารเคมีและอุปกรณ์</u>

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำกลั่น	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำเสียจากชุมชน	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำในคลอง 16	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมี และอุปกรณ์ (ต่อ)

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

น้ำซักผ้า	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

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

<u>การเตรียมล่วงหน้า</u>

ครูเตรียมตัวอย่างน้ำต่างๆ ดังนี้

1. น้ำกลั่น ควรเป็นน้ำกลั่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่มีสีดำ และมีกลิ่นเหม็นโดยให้นักเรียนเตรียมมาในตอนเช้าก่อนทำการทดลอง
3. น้ำในคลอง 16 ควรเตรียมทันทีที่มีการทดลอง
4. น้ำประปา ควรเปิดใส่ภาชนะปากกว้างก่อน 1 วัน เพื่อให้ปราศจากกลิ่นคลอรีน
5. น้ำล้างจาน เป็นน้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำ เศษอาหาร และน้ำยาล้างจานโดยให้นักเรียนเตรียมมาในตอนเช้าก่อนทำการทดลอง
6. น้ำส้มสายชู ควรผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3
7. น้ำยาล้างห้องน้ำ ควรผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3
8. น้ำสบู่ เป็นน้ำสบู่ที่ได้จากการล้างทำความสะอาดมือของนักเรียน

9. น้ำจากตู้เลี้ยงปลา เป็นน้ำที่มีสาหร่ายหางกระรอกเจริญเติบโตอยู่ร่วมกับปลาหางนกยูง ซึ่งไม่มีการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ

10. น้ำซักผ้า เป็นน้ำในการซักผ้าครั้งแรกซึ่งมีผงซักฟอกผสมอยู่โดยให้นักเรียนเตรียมมาในตอนเช้าก่อนทำการทดลอง

<u>อภิปรายก่อนการทดลอง</u>

ครูแนะนำให้นักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด และวิธีการดมสารเคมีให้ใช้มือพัดกลิ่นมาดมห้ามใช้จมูกดมกลิ่นโดยตรง

2. อธิบายวิธีการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง เช่น การใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ การใช้เทอร์โมมิเตอร์ และการใช้กระบอกตวง

2.1 การทดสอบโดยใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่าง นำมาแตะที่กระดาษ ยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จากนั้นสังเกตสีที่เปลี่ยนเทียบกับสีมาตรฐานที่กำหนด การอ่านเลขที่ตรงกับสีจะต้องอ่านภายในเวลา 30 วินาที สีที่เปลี่ยนหลัง 30 วินาที จะเป็นค่าที่ผิดพลาด

2.2 การใช้เทอร์โมมิเตอร์ต้องให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มอยู่ในสิ่งนั้นหรือสัมผัสกับสิ่งที่จะวัดให้มากที่สุด และก้านของเทอร์โมมิเตอร์ต้องตั้งตรง เมื่อระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว จึงอ่านค่าอุณหภูมิตรงขีดที่ตรงกับระดับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว และเทอร์โมมิเตอร์ยังจุ่มอยู่ในสิ่งที่ต้องการวัด

2.3 การอ่านค่าบนกระบอกตวง เนื่องจากลักษณะผิวหน้าของของน้ำเว้าตรงกลาง ขณะอ่านให้อ่านที่ขีดบอกระดับตรงส่วนล่างสุดของผิวโค้งโดยให้ตาอยู่ตรงกับระดับน้ำเสมอ

3. ให้นักเรียนทำการทดลองเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน

4. ติดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างทุกชนิดที่นำมาทดลองที่ข้างบีกเกอร์ทุกใบ

5. บันทึกผลการทดลอง

6. อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้

<u>ตารางบันทึกผล</u> การสังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน	
	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี

น้ำกลั่น		/		/		/
น้ำเสียจากชุมชน	/		/		/	
น้ำในคลอง 16	/			/	/	
น้ำประปา		/		/		/
น้ำล้างจาน	/		/		/	
น้ำส้มสายชู		/	/			/
น้ำยาล้างห้องน้ำ	/		/			/
น้ำสบู่	/		/		/	
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	/		/		/	
น้ำซักผ้า	/		/		/	

<u>หมายเหตุ</u> ผลการทดลองอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลองที่ทดลองได้จริง

<u>ตารางบันทึกผล</u> การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ

น้ำตัวอย่าง	เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง	
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5–9.0	อุณหภูมิ (˚C) ไม่เกิน 38
น้ำกลั่น	7	27
น้ำเสียจากชุมชน	10	30
น้ำในคลอง 16	7	30
น้ำประปา	7	27
น้ำล้างจาน	6	28
น้ำส้มสายชู	3	28
น้ำยาล้างห้องน้ำ	1	28
น้ำสบู่	9	27
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	7	28
น้ำซักผ้า	10	28

อภิปรายหลังการทดลอง

1. ให้นักเรียนเสนอผลการทดลองบนกระดานดำ
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

2.1 น้ำที่มีผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำกลั่น คือ น้ำประปา แสดงว่าน้ำนั้นเป็นน้ำสะอาด สามารถนำไปใช้ในการบริโภคได้

2.2 น้ำที่มีผลการทดลองแตกต่างจากน้ำกลั่น คือ น้ำเสียจากชุมชน มีสีเทาดำ กลิ่นเหม็น มีเศษอาหาร และวัสดุไม่ย่อยสลายปนเปื้อน

น้ำในคลอง 16 มีสีน้ำตาลอ่อนๆ มีความขุนเล็กน้อย

น้ำล้างจาน มีสีส้ม-แดงคล้ายสีของพริก กลิ่นเหม็น มีเศษอาหารปนหลายชนิด

น้ำส้มสายชู มีกลิ่นเปรี้ยว ค่า pH เท่ากับ 3 แสดงว่าน้ำนั้นมีสภาพเป็นกรดซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรุงอาหารได้แต่ห้ามใช้ในปริมาณที่มากเพราะจะทำให้เกิดโทษต่อร่างกาย

น้ำยาล้างห้องน้ำ มีสีฟ้า ค่า pH เท่ากับ 1 แสดงว่าน้ำมีสภาพความเป็นกรดที่รุนแรง

น้ำสบู่ สีขาวขุ่น กลิ่นหอม มีฟองอากาศขนาดเล็กลอยอยู่ผิวน้ำ

น้ำจากตู้เลี้ยงปลา มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อย พบการปะปนของเศษสาหร่ายหางกระรอกแต่มีปริมาณน้อยมาก

น้ำซักผ้า มีสีดำ กลิ่นผงซักฟอก มีฟองสีขาวลอยอยู่ที่ผิวของน้ำ

ดังนั้น น้ำเสียจากชุมชน น้ำในคลอง 16 น้ำล้างจาน น้ำส้มสายชู น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำสบู่ น้ำจากตู้เลี้ยงปลา และน้ำซักผ้า จึงเป็นน้ำเสียเนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างไปจากน้ำกลั่น

2.3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งน้ำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ น้ำกลั่น และน้ำประปา

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. น้ำในคลอง 16

ข้อที่ 7 เฉลย ข. สารละลายผงซักฟอก

ข้อที่ 8 เฉลย ง. กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์

ข้อที่ 9 เฉลย ง. ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่างแล้วน้ำไปแตะกระดาษ
ยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก

ข้อที่ 10 เฉลย ค. ให้สมาชิกเพียงคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง
อย่างระมัดระวัง 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4 (ม.4) เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ 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 เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแสดงเป็นตัวเลขที่บอกระดับความเป็นกรดหรือค่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้า pH มีค่าเป็น 7 แสดงว่ามีสภาวะเป็นกลาง ถ้า pH มีค่า 0-7 แสดงว่าน้ำนั้นเป็นกรด ถ้า pH มีค่า 7-14 แสดงว่ามีสภาวะเป็นด่าง
2. อุณหภูมิ แสดงถึงระดับความร้อนของน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดได้จากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงลงสู่แหล่งน้ำ หรือการที่แสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำ
3. กลิ่น ในน้ำกลิ่นเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ

4. สี ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มองเห็นนั้นเป็นสีปรากฏมาจากแสงที่ส่องลงในน้ำเกิดการกระจายของแสงโดยโมเลกุลน้ำกลับเข้าสู่ตาเรา การที่ปรากฏสีของแหล่งน้ำเป็นสีต่างกันเพราะอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยในน้ำสามารถดูดกลืนและกระจายแสงกลับคืนสู่ตาเราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและขนาดของอนุภาค

5. ตะกอน คือปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

กิจกรรมการเรียนรู้

<u>ขั้นนำ</u>

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

<u>ขั้นสอน</u>

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

6) ในระหว่างนักเรียนทำการทดลอง ครูจะสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล การทำงานภายในกลุ่ม และความตั้งใจในการทำงาน ตลอดจนให้คำปรึกษา รวมถึงแนะนำนักเรียนระหว่างทำการทดลอง

7) นักเรียนบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

<u>ขั้นสรุป</u>

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) แบบบันทึกการสังเกตความตั้งในในการทำงาน
4) เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ

บันทึกหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน

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

ภาคผนวก จ

ผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ

- บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

ตาราง 18 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 18 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 18 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 19 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 19 (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 19 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 20 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 20 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 20 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 21 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความชัดเจนของคำถาม

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 21 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 21 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 22 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความสอดคล้องกับจุดประสงค์

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 22 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 22 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 23 แสดงผลสรุปค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ของผู้เชี่ยวชาญด้านความเหมาะสมของตัวเลือก

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 23 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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 23 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปรผล
	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

ตาราง 24 แสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

ข้อ	รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5			
1.	น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการเกิดและการคงอยู่ของทุกชีวิตบนโลก	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
2.	น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญที่สุดเพราะนักเรียนจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้หากขาดน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
3.	น้ำเป็นแหล่งกำเนิดความหลากหลายทางชีวภาพอันยิ่งใหญ่ของพืชและสัตว์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
4.	นักเรียนชอบเนื้อหาแต่ละชุดการเรียนระดับใด	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
5.	สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำคือมนุษย์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
6.	การที่ได้เห็นแหล่งน้ำอยู่ในสภาพดีทำให้จิตใจแจ่มใส	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	ใช้ได้
7.	นักเรียนควรช่วยกันปลูกต้นไม้เพื่อจะได้มีแหล่งลำธาร	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
8.	บ้านของดำอยู่ติดแม่น้ำดำจึงรู้สึกสะดวกสบายเวลาที่กำจัดขยะลงในแม่น้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
9.	บี เห็นว่าไม่มีประโยชน์ที่จะช่วยกันรักษาแหล่งน้ำ ในเมื่อคนอื่นๆ ไม่ให้ความร่วมมือ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
10.	นักเรียนสามารถมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
11.	การอนุรักษ์น้ำควรทำเฉพาะฤดูแล้ง เพราะว่าน้ำน้อย ส่วนฤดูอื่นไม่จำเป็นต้องมีการอนุรักษ์เพราะว่าน้ำเยอะ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
12.	ควรส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้เรื่องการอนุรักษ์น้ำ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ตาราง 24 (ต่อ)

ข้อ	รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3	4	5			
13.	การที่บางโรงเรียนจัดกิจกรรมเกี่ยวกับการอนุรักษ์แหล่งน้ำ เช่น โครงการนักสืบสายน้ำเป็นเรื่องที่น่ายกย่อง	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
14.	น้ำเป็นแหล่งกำเนิดของวัฒนธรรม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
15.	ปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่ต้องรีบแก้ไขโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
16.	การที่จะปลูกฝังให้นักเรียนเห็นคุณค่าของทรัพยากรน้ำต้องให้นักเรียนได้ไปเรียนรู้จากประสบการณ์จริง								
17.	น้ำจัดเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วไม่หมดสิ้น ดังนั้นจึงใช้น้ำได้อย่างฟุ่มเฟือย	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
18.	เมื่อความเจริญเริ่มเข้าถึงที่ใด บริเวณนั้นจะมีปัญหาในด้านของทรัพยากรตามมา เช่น น้ำเสีย	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
19.	ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำส่งผลต่อทรัพยากรอื่นๆ ด้วย เช่น อากาศ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้
20.	นักเรียนควรจะมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำเพราะนักเรียนเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช้ได้

ภาคผนวก ฉ

เครื่องมือวัดผลการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน

- ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- เจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

<u>แบบทดสอบเพื่อการวิจัย</u>

เรื่อง

การพัฒนาบทปฏิบัติการระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

<u>คำชี้แจง</u>

1. แบบทดสอบฉบับนี้ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ระบบบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนชั้นมัธยม ศึกษาปีที่ 4

2. แบบทดสอบมีทั้งหมด 40 ข้อ 40 คะแนน ใช้เวลาทำ 40 นาที

3. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นลักษณะข้อสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ให้นักเรียนเลือกคำถามที่ถูกที่สุดเพียงคำตอบเดียว จากตัวเลือก ก, ข, ค, หรือ ง โดยให้ทำเครื่องหมาย (x) ลงในช่องที่กำหนดให้ในกระดาษคำตอบ

<u>ตัวอย่าง</u> (1) ข้อใดเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ก. การกำจัดสารอินทรีย์

ข. การกำจัดสารอนินทรีย์

ค. การกำจัดสารแขวนลอย

ง. การกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ

ถ้านักเรียนเลือกข้อ ก. ให้ขีดเครื่องหมาย X ลงในกระดาษคำตอบดังนี้

ก.	ข.	ค.	ง.
X			

แต่ถ้านักเรียนต้องการเปลี่ยนคำตอบใหม่ ให้ทำเครื่องหมายดังตัวอย่างการเปลี่ยนคำตอบจากข้อ ก. เป็น ข้อ ง. ดังต่อไปนี้

ก.	ข.	ค.	ง.
~~X~~			X

4. คำถามในแต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงคำตอบเดียว ถ้าข้อใดตอบเกิน 1 คำตอบ หรือไม่ตอบเลยจะให้คะแนนศูนย์ในข้อนั้นทันที หากมีข้อสงสัยให้ถามผู้คุมสอบ

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

1. สิ่งใดสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งชี้คุณภาพของน้ำได้
   ก. ปริมาณพืชที่มีอยู่ในน้ำ
   ข.ปริมาณสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ
   ค. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
   ง.ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
2. เมื่อจุ่มกระดาษลิตมัสลงในน้ำเสียจากชุมชน ปรากฏว่ากระดาษลิตมัสเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง นักเรียนจะสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับน้ำเสียชุมชนว่าอย่างไร
   ก. มีสมบัติเป็นกรด
   ข. มีสมบัติเป็นเบส
   ค. มีสมบัติเป็นกลาง
   ง. มีสมบัติเป็นกรด และเบส
3. ข้อใดเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ
   ก. การกำจัดสารอินทรีย์
   ก. การกำจัดสารอนินทรีย์
   ข. การกำจัดสารแขวนลอย
   ค. 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. น้ำมันเคลือบเกล็ดทำให้เคลื่อนที่ไม่ไหว
   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. เพราะเหตุใดเมื่อถูกน้ำยาล้างห้องน้ำที่เป็นกรดที่มือต้องล้างด้วยสารละลายชนิดน้ำปูนใส

ก. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นกรด

ข. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นเบส

ค. เพราะน้ำปูนใสมีคุณสมบัติเป็นกลาง

ง. เพราะน้ำปูนใสไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณมือ

16. อุณหภูมิของน้ำซึ่งสูงเกินกว่ามาตรฐานส่งผลให้เกิดน้ำเสียได้อย่างไร

ก. สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ข. ลดอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ

ค. ลดปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์

ง. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำไม่สามารถดำเนินต่อไปได้

17. การบำบัดน้ำเสียวิธีใดมีลักษณะมีลักษณะเดียวกันกับการจับปลาของชาวประมง

ก. การบำบัดน้ำเสียทางเคมี

ข. การบำบัดน้ำเสียทางชีวเคมี

ค. การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

ง. การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ

18. เมื่อตรวจสอบน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารกระป๋องพบว่ามีค่า pH เท่ากับ 5 นักเรียนจะต้องเติมสารละลายชนิดใดเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีสภาพเป็นกลาง
    ก. น้ำปูนใส
    ข. น้ำมะกรูด
    ค. น้ำมะนาว
    ง. น้ำยาล้างห้องน้ำ
19. ถ้านักเรียนต้องการบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนของนักเรียนเองควรเลือกใช้วิธีใดจึงจะสะดวกและประหยัดที่สุด
    ก. สร้างระบบบำบัดแบบจานหมุน
    ข. ใช้ตะแกรงดักเศษอาหารและขยะ
    ค. ไม่จำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยน้ำทิ้ง
    ง. ขังน้ำให้ตกตะกอนก่อนปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน
20. การที่นักเรียนสังเกตเห็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีลักษณะใสสามารถบอกได้หรือไม่ว่าเป็นน้ำดีหรือน้ำเสีย
    ก. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำสะอาด
    ข. บอกได้เลยว่าเป็นน้ำเสียทางเคมี
    ค. บอกไม่ได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียก่อน
    ง. บอกไม่ได้จนกว่าจะทราบข้อมูลการผลิตเบื้องต้นของโรงงาน
21. สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในขยะมูลฝอยทำให้น้ำเน่าเสียได้อย่างไร
    ก. มีก๊าซคลอรีนมากขึ้น
    ข. ลดปริมาณก๊าซออกซิเจน
    ค. เพิ่มสารฟอสเฟตให้กับแหล่งน้ำ
    ง. เพิ่มจำนวนแบคทีเรียในแหล่งน้ำ
22. ถ้านักเรียนพบเห็นโรงงานอุตสาหกรรมลักลอบปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ นักเรียนจะทำอย่างไร
    ก. เดินขบวนต่อต้านการกระทำดังกล่าว
    ข. อยู่เฉยๆ เพราะเป็นเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวเอง
    ค. แจ้งเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในท้องถิ่นให้รับทราบ
    ง. เข้าพบเจ้าของโรงงานเพื่อบอกให้หยุดการปล่อยน้ำเสีย

23. การนำน้ำคลองมาใช้ในด้านอุปโภคควรต้องผ่านกระบวนการใด

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. ด้านสาธารณูปโภค

33. ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำคู่ใดมีความเกี่ยวข้องกันมากที่สุด

ก. อุณหภูมิกับกลิ่นของน้ำ

ข. ปริมาณตะกอนกับกลิ่นของน้ำ

ค. ความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ

ง. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับอุณหภูมิ

34. สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผักตบชวาในคลองเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว คือข้อใด

ก. ได้รับน้ำทิ้งจากโรงงานปุ๋ย

ข. ได้รับสิ่งปฏิกูลจากการเกษตร

ค. ได้รับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ง. ได้รับน้ำทิ้งจากสารประเภทผงซักฟอก

35. อุปกรณ์ชนิดใดเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของเศษใบไม้ และถุงพลาสติกมากที่สุด
    ก. ผ้าขาวบาง
    ข. ถังตกตะกอน
    ค. ตะแกรงหยาบ
    ง. ตะแกรงละเอียด
36. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนระบบใดที่*ไม่*สามารถติดตั้งได้ในบริเวณพื้นที่ที่มีชุมชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น
    ก. ระบบบ่อผึ่ง
    ข. ระบบบ่อเกรอะ
    ค. ระบบเร่งตะกอน
    ง. ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ
37. สาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีเมื่อปลูกในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ คือข้อใด
    ก. ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสีย
    ข. ปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย
    ค. ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในน้ำเสีย
    ง. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำเป็นต่อการสร้างอาหารของพืช
38. นักสิ่งแวดล้อมเลือกใช้ตะแกรงหยาบในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเพราะเหตุใด
    ก. แยกของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย
    ข. ลดความยุ่งยากในการดูแลระบบบำบัด
    ค. มีความคงทน สามารถรองรับขยะในน้ำเสียได้ดี
    ง. เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกของแบคทีเรีย
39. จากการทดลองเรื่องการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ นักเรียนใช้เกณฑ์อะไรในการเลือกอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสีย
    ก. ขนาดของสิ่งที่เจือปน
    ข. ปริมาณเศษวัสดุต่างๆ
    ค. ปริมาณน้ำเสียที่จะนำมาบำบัด
    ง. ขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้ทดลอง

40. แหล่งน้ำบริเวณหน้าโรงงานน้ำมันเครื่องมักเน่าเสีย เนื่องมาจากสาเหตุใด

ก. น้ำทิ้งมีอุณหภูมิสูง

ข. น้ำทิ้งมีผงซักฟอกปนอยู่มาก

ค. น้ำทิ้งมีสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในการผลิต

ง. น้ำทิ้งมีคราบน้ำมันขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนในน้ำ

แบบทดสอบเพื่อการวิจัย

เรื่อง
การพัฒนาบทปฏิบัติการระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน สำหรับนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง

1. แบบทดสอบฉบับนี้ใช้วัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบบำบัดน้ำเสีย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. แบบทดสอบมีทั้งหมด 40 ข้อ 40 คะแนน ใช้เวลาทำ 40 นาที

3. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นลักษณะข้อสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ให้นักเรียนเลือกคำถามที่ถูกที่สุดเพียงคำตอบเดียว จากตัวเลือก ก, ข, ค, หรือ ง โดยให้ทำเครื่องหมาย (x) ลงในช่องที่กำหนดให้ในกระดาษคำตอบ

ตัวอย่าง (1) ข้อใดเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ก. การกำจัดสารอินทรีย์

ข. การกำจัดสารอนินทรีย์

ค. การกำจัดสารแขวนลอย

ง. การกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ

ถ้านักเรียนเลือกข้อ ก. ให้ขีดเครื่องหมาย X ลงในกระดาษคำตอบดังนี้

ก.	ข.	ค.	ง.
X			

แต่ถ้านักเรียนต้องการเปลี่ยนคำตอบใหม่ ให้ทำเครื่องหมายดังตัวอย่างการเปลี่ยนคำตอบจากข้อ ก. เป็น ข้อ ง. ดังต่อไปนี้

ก.	ข.	ค.	ง.
~~X~~			X

4. คำถามในแต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงคำตอบเดียว ถ้าข้อใดตอบเกิน 1 คำตอบ หรือไม่ตอบเลยจะให้คะแนนศูนย์ในข้อนั้นทันที หากมีข้อสงสัยให้ถามผู้คุมสอบ

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

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

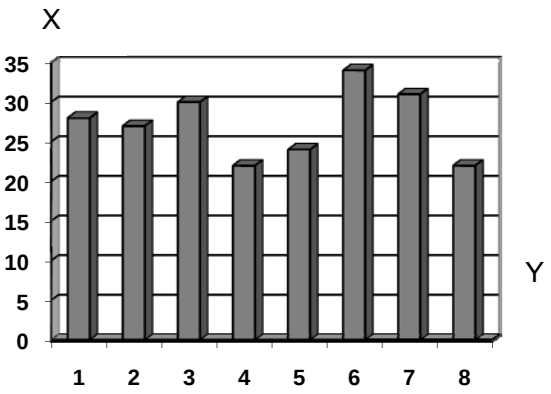
ก. 1, 2, 3, 4

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. ข้อใด*ไม่ใช่*ข้อปฏิบัติสำหรับการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
   ก. ใช้ด้วยความระมัดระวัง
   ข. ทำความสะอาดและเช็ดให้แห้งหลังเลิกใช้
   ค. สลัดเทอร์โมมิเตอร์ก่อนและหลังการใช้ทุกครั้ง
   ง. อ่านอุณหภูมิขณะกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ยังอยู่ในสิ่งที่วัด
12. จากภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าอะไร

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

13. การใช้หลอดหยดในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ควรปฏิบัติอย่างไร
    ก. ดูดของเหลวเต็มหลอด บีบจุกยางให้ของเหลวหยดทีละหยด เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง แล้วเก็บไว้
    ข. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ บีบจุกยางให้ของเหลวหยดทีละหยด เสร็จแล้วเก็บไว้ทันที
    ค. ดูดของเหลวเต็มหลอด บีบจุกยางให้ของเหลวหยดทีละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง แล้วเก็บไว้
    ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ บีบจุกยางให้ของเหลวหยดทีละหยดในปริมาณที่เท่าๆ กัน เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้วสะบัดให้แห้ง
14. เมื่อแกว่งสารส้มในถังน้ำจากคลองแสนแสบแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ นักเรียนจะสังเกตเห็นสิ่งใด
    ก. น้ำใส
    ข. น้ำขุ่น
    ค. น้ำมีตะกอน
    ง. น้ำใส และมีตะกอนก้นถัง
15. การวัดความกว้างของขวดโหลพลาสติกควรเลือกใช้เครื่องมือชนิดใด
    ก. ไม้ที
    ข. สายวัด
    ค. ตลับเมตร
    ง. ไม้บรรทัด
16. นักเรียนต้องการปรับปรุงคุณภาพน้ำขี้เถ้าให้เหมือนกับน้ำมะขามเปียกควรปฏิบัติอย่างไร
    ก. เติมน้ำสบู่
    ข. เติมน้ำกลั่น
    ค. เติมน้ำมะกรูด
    ง. เติมน้ำปูนแดง
17. ถ้าน้ำในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่มีการปนเปื้อนของเศษวัสดุที่ลอยน้ำได้นักเรียนจะเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีใดเพื่อจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น
    ก. หยิบออกด้วยมือ
    ข. ตักออกด้วยกระชอน
    ค. กรองด้วยผ้าขาวบาง
    ง. กรองด้วยตะแกรงหยาบ

18. เครื่องมือชนิดใดใช้วัดปริมาตรโดยประมาณของของเหลว

ก. ปิเปต

ข. บีกเกอร์

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

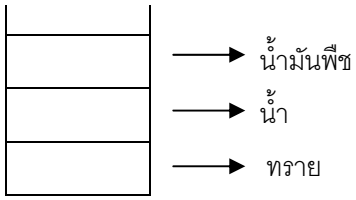
ข. นำน้ำเสียใส่ขวดปิดจุกขวดตลอดการทดลอง

ค. นำน้ำเสียใส่ขวดเปิดจุกขวดตลอดการทดลอง

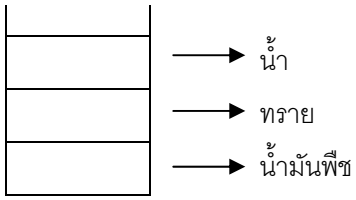
ง. นำน้ำเสียใส่ขวดเติมออกซิเจนลงไปในขวดตลอดเวลา

22. สารต่อไปนี้มีน้ำมันพืช ทราย และน้ำ ถ้าอยู่ปนกันจะเป็นไปตามข้อใด

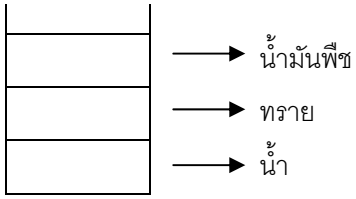
ก.



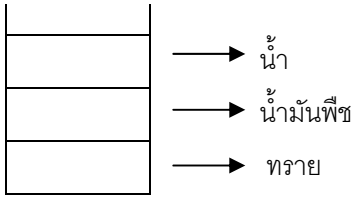
ข.



ค.



ง.



23. จากการทดลองตรวจสอบน้ำกลั่น น้ำประปา น้ำคลอง และน้ำเสียจากชุมชน น้ำชนิดใดจัดอยู่ในประเภทเดียวกัน

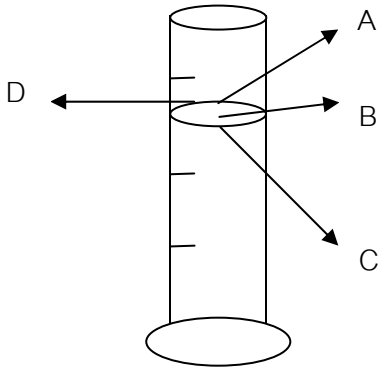
ก. น้ำประปา กับ น้ำกลั่น

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. ถ้าต้องการดมกลิ่นน้ำส้มสายชูที่อยู่ในบีกเกอร์ควรปฏิบัติอย่างไร

ก. วางบีกเกอร์ไว้อยู่กับที่แล้วก้มลงไปดมกลิ่นของน้ำส้มสายชูโดยตรง

ข. ยกบีกเกอร์ขึ้นให้อยู่ในระดับจมูก แล้วดมกลิ่นของน้ำส้มสายชูโดยตรง

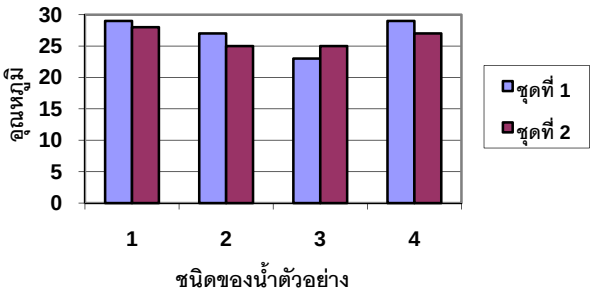
ค. ยกบีกเกอร์ขึ้นให้อยู่ในระดับจมูก ใช้มือพัดบริเวณเหนือบีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม

ง. วางบีกเกอร์ไว้อยู่กับที่แล้ว ใช้กระดาษพัดบริเวณเหนือบีกเกอร์ให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูเข้าหาจมูกแล้วจึงสูดดม

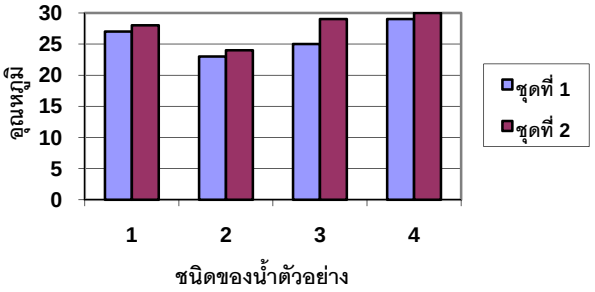
27. การนำเสนอข้อมูลจากตาราง ข้อใดนำเสนอได้ถูกต้อง

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

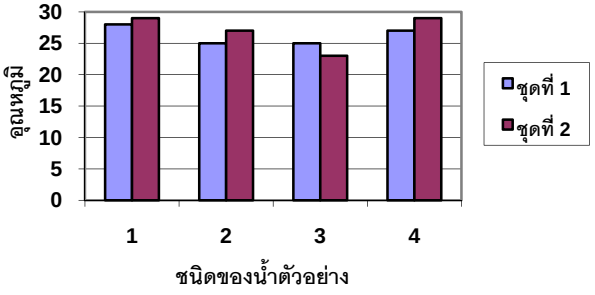
ก.



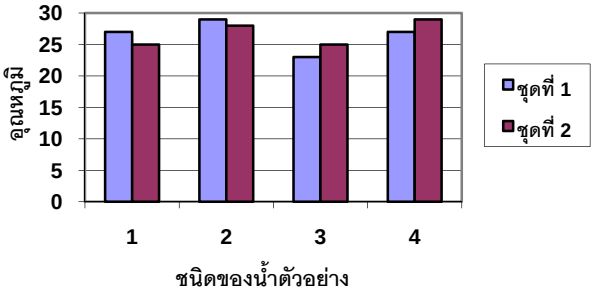
ข.



ค.



ง.



28. จากภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าอะไร

ก. วัดค่า pH

ข. วัดค่าคลอรีน

ค. วัดค่าอุณหภูมิ

ง. วัดค่าความเข้มข้นของสาร

29. การเติมออกซิเจนลงในน้ำเสียซึ่งบรรจุอยู่ในขวดชนิดใสควรปฏิบัติอย่างไร

ก. เติมออกซิเจนลงในน้ำเสียโดยใช้เครื่องปั้มลม โดยเปิดฝาขวดตลอดเวลา

ข. เปิดฝาขวดตลอดเวลา ให้ออกซิเจนแพร่ลงในน้ำเสียตามธรรมชาติ

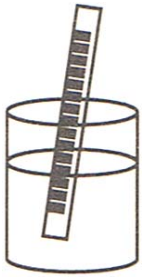
ค. เปิดฝาขวดตลอดเวลา โดยใช้อุปกรณ์พัดให้ออกซิเจนแพร่ลงไปในน้ำเสีย

ง. เติมออกซิเจนลงในน้ำเสียโดยใช้เครื่องปั้มลม แล้วปิดฝาขวดให้สนิท

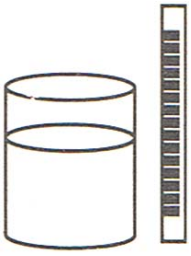
30. ในการวัดความสูงของระดับน้ำในแก้ว นักเรียนควรวางเครื่องมือวัดตามรูปใด

ก.

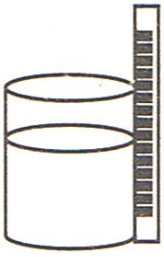
ข.



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 น้ำขี้เถ้า
34. ถ้าต้องการอ่านค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ควรปฏิบัติอย่างไร
    ก. อ่านค่าอุณหภูมิ*<u>ใต้ขีด</u>*ที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่เหนือระดับเดียวกับของเหลวเล็กน้อย
    ข. อ่านค่าอุณหภูมิ*<u>เหนือขีด</u>*ที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว
    ค. อ่านค่าอุณหภูมิ*<u>ตรงขีด</u>*ที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ โดยให้สายตาอยู่ที่ระดับเดียวกับของเหลว
    ง. อ่านค่าอุณหภูมิ*<u>ตรงขีด</u>*ที่ตรงกับระดับเดียวกับของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ 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 ให้ก้านเทอร์โมมิเตอร์ตั้งตรงแล้วอ่านค่าอุณหภูมิทันที

ง. หย่อนเทอร์โมมิเตอร์ด้านที่มีกระเปาะลงในน้ำเสียชุมชน ให้ก้านเทอร์โมมิเตอร์ตั้งตรง รอให้ของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ

38. ตะแกรงหยาบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำเสียชนิดใด

ก. น้ำผสมกับข้าวสุก

ข. น้ำที่มีสารแขวนลอย

ค. น้ำผสมกับเศษกระดาษ

ง. น้ำผสมกับดินบดละเอียด

39. น้ำเสียจากแหล่งใดควรได้รับการบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ก.

ข.

ค.

ง.

40. นายแดนวัดปริมาตรของน้ำเสียจากโรงเรียนโดยใช้กระบอกตวง 4 ครั้ง ได้ผลดังตาราง

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

จากข้อมูลในตาราง เพาะเหตุใดนายแดนจึงวัดได้ค่าปริมาตรของน้ำแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

ก. กระบอกตวงมีขีดสเกลที่ไม่ได้มาตรฐาน

ข. ใช้กระบอกตวงขนาดเล็กกว่าปริมาตรน้ำเสียจึงต้องวัดหลายครั้ง

ค. อ่านค่าปริมาตรโดยสายตาอยู่ในระดับเดียวกับส่วนโค้งต่ำสุดของน้ำเสีย

ง. เทน้ำเสียลงในกระบอกตวงแต่ละครั้งแรงเกินไป ทำให้น้ำเสียบางส่วนกระฉอกออกมา

<u>แบบสอบถามเพื่อการวิจัย</u>

เรื่อง

การพัฒนาบทปฏิบัติการระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

<u>คำชี้แจง</u>

1. แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ประกอบด้วย
   ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของนักเรียนผู้ตอบแบบสอบถาม
   ตอนที่ 2 แบบสอบถามวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ
2. ให้นักเรียนอ่านคำชี้แจงก่อนลงมือทำ
3. แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำฉบับนี้ไม่มีข้อถูกหรือผิด คำตอบที่ดีที่สุด คือคำตอบที่มาจากความรู้สึกที่แท้จริงของนักเรียน และคำตอบไม่มีผลต่อคะแนนการเรียนของนักเรียนทั้งสิ้น
4. ให้นักเรียนเขียนชื่อ – นามสกุล เลขที่ ก่อนที่จะตอบแบบวัดเจตคติ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของนักเรียน

เพศ( ) ชาย

( ) หญิง

ชื่อ - นามสกุล (นาย/น.ส.).....

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เลขที่ .....โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์

ตอนที่ 2 แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

<u>คำชี้แจง</u>

1.แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำชุดนี้ ต้องการถามเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจ และการกระทำของนักเรียนที่มีต่อทรัพยากรน้ำ ขอให้นักเรียนตอบคำถามทุกข้อตามสภาพความเป็นจริงเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าต่อไป คำตอบทุกข้อของนักเรียนจะถือเป็นความลับ

2. วิธีการตอบ แบบวัดเจตคติมี 20 ข้อ ขอให้นักเรียนอ่านข้อความแต่ละข้อและพิจารณาว่าข้อความนั้นนักเรียนเห็นด้วย หรือไม่เห็นด้วย มากน้อยเพียงใด แล้วใส่เครื่องหมาย(√) ลงในช่องทางขวามือของข้อความเพียงช่องเดียว

<u>หลักเกณฑ์ในการเลือกมีดังนี้</u>

5 คะแนน หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4 คะแนน หมายถึง เห็นด้วย
3 คะแนน หมายถึง ไม่แน่ใจ
2 คะแนน หมายถึง ไม่เห็นด้วย
1 คะแนน หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

<u>ตัวอย่างการตอบคำถาม</u>

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับความรู้สึก				
		5	4	3	2	1
0	นักเรียนไม่จำเป็นต้องเรียนหนังสือ					√

ตัวอย่าง

<u>จากตัวอย่าง</u> ข้อ 0 แสดงว่านักเรียน ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งว่า นักเรียนไม่จำเป็นต้องเรียนหนังสือ

แบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับความรู้สึก				
		5	4	3	2	1
1.	น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการเกิดและการคงอยู่ของทุกชีวิตบนโลก	.....	.....	.....	.....	.....
2.	น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญที่สุดเพราะนักเรียนจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้หากขาดน้ำ	.....	.....	.....	.....	.....
3.	น้ำเป็นแหล่งกำเนิดความหลากหลายทางชีวภาพอันยิ่งใหญ่ของพืชและสัตว์	.....	.....	.....	.....	.....
4.	นักเรียนชอบเนื้อหาแต่ละชุดการเรียนระดับใด	.....	.....	.....	.....	.....
5.	สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำคือมนุษย์	.....	.....	.....	.....	.....
6.	การที่ได้เห็นแหล่งน้ำอยู่ในสภาพดีทำให้จิตใจแจ่มใส	.....	.....	.....	.....	.....
7.	นักเรียนควรช่วยกันปลูกต้นไม้เพื่อจะได้มีแหล่งลำธาร	.....	.....	.....	.....	.....
8.	บ้านของดำอยู่ติดแม่น้ำดำจึงรู้สึกสะดวกสบายเวลาที่กำจัดขยะลงในแม่น้ำ	.....	.....	.....	.....	.....
9.	บี เห็นว่าไม่มีประโยชน์ที่จะช่วยกันรักษาแหล่งน้ำในเมื่อคนอื่นๆ ไม่ให้ความร่วมมือ	.....	.....	.....	.....	.....
10.	นักเรียนสามารถมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ	.....	.....	.....	.....	.....
11.	การอนุรักษ์น้ำควรทำเฉพาะฤดูแล้ง เพราะว่าน้ำน้อย ส่วนฤดูอื่นไม่จำเป็นต้องมีการอนุรักษ์เพราะว่าน้ำเยอะ	.....	.....	.....	.....	.....
12.	ควรส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้เรื่องการ	.....	.....	.....	.....	.....
13.	การที่บางโรงเรียนจัดกิจกรรมเกี่ยวกับการอนุรักษ์แหล่งน้ำ เช่น โครงการนักสืบสายน้ำ เป็นเรื่องที่น่ายกย่อง	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับความรู้สึก				
		5	4	3	2	1
14.	น้ำเป็นแหล่งกำเนิดของวัฒนธรรม	.....	.....	.....	.....	.....
15.	ปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่ต้องรีบแก้ไขโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร	.....	.....	.....	.....	.....
16.	การที่จะปลูกฝังให้นักเรียนเห็นคุณค่าของทรัพยากรน้ำต้องให้นักเรียนได้ไปเรียนรู้จากประสบการณ์จริง	.....	.....	.....	.....	.....
17.	น้ำจัดเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วไม่หมดสิ้น ดังนั้น จึงใช้น้ำได้อย่างฟุ่มเฟือย	.....	.....	.....	.....	.....
18.	เมื่อความเจริญเริ่มเข้าถึงที่ใด บริเวณนั้นจะมีปัญหาในด้านของทรัพยากรตามมา เช่น น้ำเสีย	.....	.....	.....	.....	.....
19.	ปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำส่งผลต่อทรัพยากรอื่นๆ ด้วย เช่น อากาศ	.....	.....	.....	.....	.....
20.	นักเรียนควรจะมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำเพราะนักเรียนเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม	.....	.....	.....	.....	.....

ภาคผนวก ซ

ผลการพัฒนาและการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

- การประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
- คะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการในบทปฏิบัติการที่ 1-5
- ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
- ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย
- คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ
- คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ
- คะแนนเจตคติต่อทรัพยากรน้ำก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการ

ตาราง 25 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 25 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	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 และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	5	4	3	4	4	20	4.00	0.71	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม	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 และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำไปใช้เพียงใด	4	4	3	4	5	20	4.00	0.71	ดี

ตาราง 25 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 มีความยากง่ายพอเหมาะ	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 26 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย บทปฏิบัติการที่ 2 ความสำคัญของน้ำ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	1	2	3	4	5				
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ									
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	3	4	3	4	5	19	3.80	0.84	ดี
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน	5	5	4	4	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์	5	5	4	4	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
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	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
1.7.3 ชวนอ่าน	4	5	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
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 26 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 มีความยากง่ายพอเหมาะ	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	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
2.3.6 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	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 และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม	4	4	4	4	5	21	4.20	0.45	ดี
3.2.4 มีความยากง่ายพอเหมาะ	4	4	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำไปใช้เพียงใด	3	3	3	4	5	17	3.60	0.89	ดี

ตาราง 26 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	1	2	3	4	5				
4. คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ									
4.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ชัดเจน	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
4.2 จุดประสงค์การสอนชัดเจน	5	4	4	5	5	22	4.60	0.55	ดีมาก
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 มีความยากง่ายพอเหมาะ	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 27 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 3 สาเหตุของน้ำเสีย

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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	ดีมากก
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 27 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	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 และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	4	4	3	5	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม	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 และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำไปใช้เพียงใด	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก

ตาราง 27 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 28 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 28 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	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 และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	5	4	3	5	5	21	4.40	0.89	ดีมาก
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	5	5	4	5	5	24	4.80	0.45	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	5	4	4	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม	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 และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำไปใช้เพียงใด	5	4	3	5	5	22	4.40	0.89	ดีมาก

ตาราง 28 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 มีความยากง่ายพอเหมาะ	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 29 แสดงค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการที่ 5 การอนุรักษ์น้ำ

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 29 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	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 และคำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	5	4	3	4	5	21	4.20	0.84	ดี
3.2 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ									
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	4	4	4	5	5	22	4.40	0.55	ดีมาก
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	4	5	5	23	4.60	0.55	ดีมาก
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม	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 และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำไปใช้เพียงใด	4	5	3	3	5	20	4.00	1.00	ดี

ตาราง 29 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ *					รวม	$\bar{X}$	S.D.	แปรผล
	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 มีความยากง่ายพอเหมาะ	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 30 แสดงคะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการที่ 1-5 ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการ						คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน 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 30 (ต่อ)

คนที่	คะแนนแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการ						คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน E2 (60)
	บท 1	บท 2	บท 3	บท 4	บท 5	E1 (50)	
25	8	10	10	8	9	45	53
26	8	10	9	10	9	46	53
27	9	9	9	10	10	47	54
28	10	10	10	8	10	48	54
29	9	10	10	10	10	49	56
30	10	10	10	10	10	50	56
ค่าเฉลี่ย	7.67	7.93	8.13	7.90	8.50	40.13	48.43
ร้อยละ	76.70	79.30	81.30	79.00	85.00	80.26	-
E1 = 80.26							E2 = 80.71
E1/E2 = 80.26/80.71							

ตาราง 31 แสดงค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 31 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 31 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 การบำบัดน้ำเสีย จำนวน 60 ข้อ มาหาค่าความเชื่อมั่นท่ากับ 0.98

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

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 32 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 32 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ	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 การบำบัดน้ำเสีย จำนวน 60 ข้อ มาหาค่าความเชื่อมั่นท่ากับ 0.98

ตาราง 33 แสดงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

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
คะแนนรวม				1051	1261
คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$)				26.28	31.53

ตาราง 34 แสดงคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ก่อนและหลังเรียน ของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	28	33	21	22	30
2	21	25	22	32	38
3	22	27	23	31	36
4	32	32	24	28	34
5	19	27	25	29	31
6	25	25	26	25	37
7	25	31	27	31	36
8	34	40	28	29	35
9	24	30	29	23	32
10	31	36	30	33	40
11	29	35	31	27	29
12	35	36	32	30	34
13	20	28	33	22	27
14	29	35	34	30	35
15	23	29	35	27	29
16	23	29	36	25	31
17	23	30	37	30	39
18	31	26	38	26	36
19	29	35	39	31	34
20	27	34	40	30	32
คะแนนรวม				1091	1298
คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$)				27.28	32.45

ตาราง 35 แสดงคะแนนเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	4.00	4.20	21	3.57	3.60
2	4.20	4.29	22	3.14	4.40
3	3.43	4.00	23	3.63	4.00
4	4.29	5.00	24	3.29	5.00
5	4.00	4.20	25	3.29	3.57
6	3.29	4.14	26	3.43	4.20
7	3.29	4.29	27	4.29	4.00
8	3.29	4.14	28	4.14	5.00
9	3.29	3.60	29	3.43	4.00
10	3.29	3.40	30	3.57	4.20
11	3.29	3.80	31	2.71	2.80
12	3.00	3.40	32	4.86	4.00
13	3.29	3.60	33	3.00	3.60
14	3.57	4.40	34	3.86	3.40
15	3.43	4.20	35	3.14	4.80
16	3.80	4.00	36	4.25	5.00
17	3.00	3.86	37	3.71	4.00
18	3.00	3.43	38	3.00	3.43
19	3.29	4.80	39	3.71	4.80
20	3.14	4.57	40	3.71	4.00
คะแนนรวม				140.91	163.12
คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$)				3.52	4.08

ภาคผนวก ซ

ตัวอย่างผลงานนักเรียน

รายงานผลการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 1 **การตรวจสอบคุณภาพน้ำ**

ชื่อผู้ทดลอง 1 นายธนกิตติ์ หนองพงษ์ 2 นางสาวชาธุวรรณ เกตุวานิต

3 นางสาวนริชาติ คุ้มตระกูล 4 นางสาวเมธาวี หลงคำ

5 นายปฐวพันธ์ บริบูรณ์

วัน/เดือน/ปี 9 พฤศจิกายน 2559 **ชื่อกลุ่ม** น้ำหนึ่ง **ชั้น** ม.4/1

จุดประสงค์การทดลอง

1 บอกลักษณะทางกายภาพของน้ำได้

2 ตรวจสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างได้

3 สามารถเปรียบเทียบสภาพของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

ตารางบันทึกผล การสังเกต สี กลิ่น และตะกอนในน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	สี		กลิ่น		ตะกอน	
	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
น้ำกลั่น		✓		✓		✓
น้ำเสียจากชุมชน	✓		✓		✓	
น้ำในคลอง 16	✓			✓	✓	
น้ำประปา		✓		✓		✓
น้ำล้างจาน	✓		✓		✓	
น้ำส้มสายชู		✓	✓			✓
น้ำยาล้างห้องน้ำ	✓		✓			✓
น้ำสบู่	✓		✓		✓	
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	✓		✓		✓	
น้ำซักผ้า	✓		✓		✓	

ตารางบันทึกผล การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ

น้ำตัวอย่าง	ค่ามาตรฐานของน้ำ	
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5-9.0	อุณหภูมิ (°C) ไม่เกิน 38
น้ำกลั่น	7	26
น้ำเสียจากชุมชน	10	30
น้ำในคลอง 16	7	29
น้ำประปา	7	26
น้ำล้างจาน	6	28
น้ำส้มสายชู	3	28
น้ำยาล้างห้องน้ำ	1	28
น้ำสบู่	9	27
น้ำจากตู้เลี้ยงปลา	7	28
น้ำซักผ้า	10	27

สรุปผลการทดลอง

1. สี น้ำกลั่น, น้ำประปา, น้ำส้มสายชู จะไม่มีสี เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทั้ง ส่วนน้ำประเภทอื่นๆ ไม่ผ่านเกณฑ์ฯ

2. กลิ่น น้ำกลั่น, น้ำคลอง 16, น้ำประปา ไม่มีกลิ่น เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทั้ง ส่วนน้ำประเภทอื่นๆ ไม่ผ่านเกณฑ์ฯ

3. ตะกอน น้ำกลั่น, น้ำประปา น้ำส้มสายชู, น้ำยาล้างห้องน้ำ ไม่มีตะกอน เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทั้ง ส่วนน้ำประเภทอื่นๆ ไม่ผ่านเกณฑ์ฯ

4. ค่า pH น้ำกลั่น, น้ำคลอง 16, น้ำประปา น้ำล้างจาน, น้ำสบู่, น้ำจากตู้เลี้ยงปลา เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทั้ง

5. อุณหภูมิ น้ำเสียตัวอย่างทั้ง 10 ประเภทเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทั้ง

คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย × ทับตัวอักษรที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. น้ำในข้อใดไม่ควรนำมาใช้บริโภค
   - 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. น้ำในคลอง 16 น้ำสบู่
   - 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 น้ำสบู่
   - ค. น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำประปา
   - ง. น้ำซักผ้า น้ำในคลอง 16

6. น้ำชนิดใดมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับน้ำกลั่นมากที่สุด
   ก. น้ำซักผ้า
   ข. น้ำจากสบู่
   ค. น้ำส้มสายชู
   ✗ น้ำในคลอง 16
7. น้ำทิ้งจากบ้านเรือนส่วนใหญ่มีสิ่งใดเจือปนอยู่
   ก. โลหะหนักที่เป็นพิษ
   ✗ สารละลายผงซักฟอก
   ค. จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค
   ง. น้ำมันจากการปรุงอาหาร
8. "น้ำทิ้งที่มีปริมาณสารเคมีตกค้างอยู่มาก อาจทำให้สัตว์น้ำมีอันตรายถึงชีวิต" จากข้อความดังกล่าวควรใช้เครื่องมือชนิดใดวัด
   ก. กระดาษขมิ้น
   ข. เทอร์โมมิเตอร์
   ค. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน
   ✗ กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์
9. การทดสอบน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์โดยวิธีการใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ควรปฏิบัติอย่างไร
   ก. หย่อนกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ลงไปในบีกเกอร์
   ข. ใช้ปากคีบจับกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง
   ค. เอียงบีกเกอร์แล้วนำกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ไปแตะที่ปากบีกเกอร์
   ✗ ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในน้ำตัวอย่างแล้วนำไปแตะกระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ ที่วางบนแผ่นกระจก
10. การปฏิบัติตามข้อใดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุด
   ก. ให้สมาชิกคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง
   ข. ให้สมาชิกหลายคนวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แต่ไม่ต้องนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย
   ✗ ให้สมาชิกเพียงคนเดียวของกลุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง อย่างระมัดระวัง 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง
   ง. ให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มใช้เทอร์โมมิเตอร์คนละ 1 อัน วัดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเดียวกัน แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละคนมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ฌ

ประมวลภาพการเก็บข้อมูลการวิจัย

ภาพประกอบ 9 แสดงอุปกรณ์ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

ภาพประกอบ 10 แสดงการตรวจเช็คระบบบำบัดก่อนทำการศึกษาประสิทธิภาพ

ภาพประกอบ 11 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ชนิดใช้เครื่องเติมอากาศ

ภาพประกอบ 12 แสดงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ภาพประกอบ 13 แสดงสีของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี

ภาพประกอบ 14 แสดงการทำการทดลองเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ภาพประกอบ 15 แสดงการชมวิทัศน์เรื่อง สาเหตุของน้ำเสีย ของนักเรียนตัวแทนกลุ่มตัวอย่าง

ภาพประกอบ 16 แสดงการทำแบบทดสอบท้ายบทปฏิบัติการของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสกล ขุขันธิน
วันเดือนปีเกิด	16 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	86 หมู่ 6 ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2538	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2543	กศ.บ. (การศึกษาบัณฑิต) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
พ.ศ. 2553	กศ.ม. (การมัธยมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร