

การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซี่ยงเตา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

พฤษภาคม 2557

การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ชะเอมศึกษา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

พฤษภาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซี่ยงเตา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา

พฤษภาคม 2557

วีรยุทธ วัชรพงษ์. (2557). การพัฒนาคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซี่ยงเตา. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
ประธานควบคุม: ดร.ณัฏฐิกา โตจินดา.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซี่ยงเตา ให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ระดับดีขึ้นไป ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจของนักเรียนหลังการใช้คู่มือกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 40 คน ได้มาจากการสุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีการ จับฉลาก 1 ห้องเรียนจากทั้งหมด 6 ห้องเรียน ทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ คู่มือฯ แบบทดสอบวัดความรู้ แบบประเมินทักษะและแบบวัดความพึงพอใจ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและสถิติ t-test

ผลการวิจัยพบว่าคู่มือฯ มีคุณภาพอยู่ในระดับดี หลังการใช้คู่มือฯ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้เฉลี่ยร้อยละ 80.5 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในเกณฑ์ดี และมีความพึงพอใจต่อการใช้คู่มือฯ ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

คำสำคัญ: คู่มือ, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, ความพึงพอใจ, แมลงน้ำ

A DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL WATER QUALITY MEASUREMENT HANDBOOK BY
USING AQUATIC INSECT FOR SECONDARY 3 STUDENT OF
SAINTLOUIS SCHOOL CHACHOENGSAO



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Secondary Education
at Srinakharinwirot University

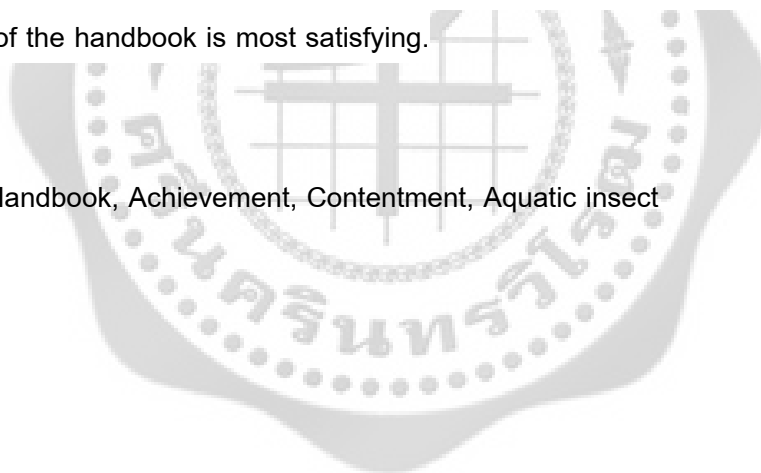
May 2014

Verayut Watcharapong. (2014). *A Development of Biological Water Quality Measurement Handbook by Using Aquatic insect for Secondary 3 Student of Saint's Louis school Chachoengsao*. Master Thesis, M.Ed. (Secondary Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee, Dr.Nullika Tojinda.

This research aims to a development of biological water quality measurement handbook by using Aquatic insect for secondary 3 student of Saint's Louis school Chachoengsao. Quality criteria Level up Educational achievement, knowledge and science process skills. After using the handbook and satisfaction of the student manual. The sample consisted of students in secondary 3, year 2556 Saint's Louis school Chachoengsao 40 students were selected by simple random raffle one classroom of 6 classroom experiment in the 2nd semester of the academic year 2556 used in this study were manual. achievement test Measure satisfaction The statistics used in data analysis were percentage average and t-test.

The results showed that the handbook had a good level of quality. Achievement of student knowledge of science process skills, 80.5 percent favorably. Student satisfaction with the use of the handbook is most satisfying.

Keywords: Handbook, Achievement, Contentment, Aquatic insect



ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การพัฒนาคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์जेเซียงเทรา
ของ
วิรุทธ วัชรพงษ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา : การสอนสิ่งแวดล้อม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่.....เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2557

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.ณัฏฐิกา ไตจินดา)

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.นฤชิต ดำปิ่น)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฏฐิกา ไตจินดา)

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

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ ดร.ณัฏฐิกา โตจินดา ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำงานวิจัยในทุกขั้นตอน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นฤชิต ดำปิ่น ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สนอง ทองปาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และเสียสละเวลาเข้าร่วมเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นฤชิต ดำปิ่น อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาจารย์ ดร. ลาวินัย วิจารณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต มีสวิมลรัตน์ มากทรัพย์ ครูโรงเรียนอัสสัมชัญ มีสเฟลินดา พรหมฤทธิ์ หัวหน้างานวัดและประเมินผล โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซิงเทรา และนางสาวพัชรภรณ์ เยาวสุต เจ้าพนักงานประมง ปฏิบัติงานศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน จังหวัดสมุทรสาคร ที่อนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการให้คำแนะนำและตรวจแก้เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณภราดาอาจิณ เต่งตระกูล ผู้อำนวยการโรงเรียนเซนต์หลุยส์เซิงเทรา พร้อมคณะครู และนักเรียนโรงเรียน ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท (การสอนสิ่งแวดล้อม) ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ แก่ผู้วิจัยตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย มาโดยตลอด และขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา คุณตา คุณยาย ตลอดจน ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิริยฤทธิ์ วัชรพงษ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	4
ความสำคัญของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
สมมุติฐานการวิจัย	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำและการใช้ แมลงน้ำเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ	7
ความหมายของคุณภาพน้ำ	7
ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ	8
การตรวจสอบคุณภาพน้ำ	10
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ ...	12
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคู่มือ	17
ความหมายของคู่มือ	17
ประโยชน์ของหนังสือคู่มือ	17
การเขียนหนังสือคู่มือ	17
การผลิตและออกแบบหนังสือคู่มือ	18
การพัฒนาคู่มือ	20
การผลิตคู่มือ	20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	21
ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	21
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ด้านความรู้และทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ	24
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ	25
3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาคู่มือฯ	28
ขั้นตอนที่ 2 การทดลองใช้คู่มือ	30
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	30
เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย	
ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย	30
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	31
คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้	31
แบบประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ	32
แบบประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับการใช้คู่มือฯ	32
ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	33
แบบแผนการทดลอง	33
การดำเนินการทดลอง	33
การวิเคราะห์ข้อมูล	33
สถิติที่ใช้ในการวิจัย	34
สถิติพื้นฐาน	34
สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ	34
สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน	35
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	36
การวิเคราะห์ข้อมูล	36
การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซนต์คาทาลีน ให้มีประสิทธิภาพ ระดับดีขึ้นไป	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทาง ชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้	40
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	43
การอภิปรายผลการวิจัย	43
ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก.	59
ภาคผนวก ข.	61
ภาคผนวก ค.	63
ภาคผนวก ง.	74
ประวัติย่อผู้วิจัย	137

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย (ASPT) จากการศึกษาสัตว์หน้าดิน เทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และคุณภาพน้ำทั่วไป	15
2	ความสัมพันธ์ระหว่างแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำที่แมลงน้ำอาศัยอยู่.....	37
3	คะแนนความสอดคล้องของกลุ่ม กับวัตถุประสงค์ของกลุ่ม โดยผู้เชี่ยวชาญ	38
4	ค่าเฉลี่ยผลการประเมินคุณภาพคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ จากผู้เชี่ยวชาญ	39
5	คะแนนเฉลี่ยผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือฯ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน	40
6	ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือฯ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน	41
7	ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คนหลังการใช้คู่มือฯ	42
8	แสดงคะแนนความสอดคล้องของกลุ่มกับวัตถุประสงค์ของกลุ่ม โดยผู้เชี่ยวชาญ	62
9	ผลการประเมินคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้จากผู้เชี่ยวชาญ	64
10	ผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน	65
11	ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือฯ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน	67
12	ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา จำนวน 40 คน หลังการใช้คู่มือฯ	59

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	27
3 ขั้นตอนและกระบวนการเกิดความตระหนัก	44
4 ขั้นตอนตามลำดับของการสะสมความรู้ และเจตคติเพื่อให้เกิดเป็นความสำนึก หรือ ความตระหนักทางสิ่งแวดล้อม (awareness)	45



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญในโลกปัจจุบัน ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการกระทำของมนุษย์ อันเนื่องมาจากความต้องการพื้นฐาน เป็นความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อการดำรงชีวิตประจำวัน ทั้งสิ้น (เกษม จันทรแก้ว. 2545: 1) หนึ่งในทรัพยากรที่สำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ คือน้ำ พบว่า โดยเฉลี่ยเราใช้น้ำวันละ 120 - 150 ลิตร ซึ่ง 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำที่เราใช้จะกลายเป็นน้ำทิ้ง (ธรรมพงศ์ เนาบุตร. 2549: 23) น้ำทิ้งเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด ในอดีตน้ำทิ้งมีจำนวนไม่มาก ธรรมชาติมีกระบวนการรักษาสมดุลได้ด้วยตัวเอง แต่เมื่อประชากรมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น จนเกินความสามารถที่ธรรมชาติจะรักษาสมดุลได้ จึงทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2544: 113) กล่าวว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ และธรรมชาติของชีวิต ดังนั้น การนำความรู้ ความเข้าใจ มาปรับปรุงพัฒนา การดำรงชีวิตของมนุษย์กับน้ำ จึงน่าจะเป็นมาตรการที่ดีที่สุด ในการที่จะทำให้มนุษย์สามารถที่จะดำรงชีวิต อยู่ได้อย่างมั่นคง การแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำให้ได้ผลดีนั้น มีมาตรการต่างๆ หลายประการ เช่น กำหนด เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ การวางแผนการใช้น้ำอย่างประหยัด และเกิดประโยชน์สูงสุด การสนับสนุน และส่งเสริมให้มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับน้ำ และการให้การศึกษาแก่ประชาชน มาตรการต่างๆ ที่กล่าวมา ข้างต้นนั้น มาตรการเรื่องการศึกษา ถือเป็นมาตรการหนึ่ง ที่จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำได้ ในระยะยาว เพราะการศึกษาช่วยส่งเสริมประชาชนให้มีความรู้ ทักษะ เจตคติที่ดีต่อทรัพยากรน้ำ เห็นคุณค่า ของทรัพยากรน้ำ ตระหนักในปัญหาที่เกิดขึ้น และพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของตน และสังคม เพื่อความอยู่รอดของตนในอนาคต (วินัย วีระวัฒนานนท์. 2532: 3) การให้การศึกษาอย่างเพียงพอแก่ ประชาชนทุกระดับ ให้เข้าใจถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ตลอดจนสามารถ ใช้วิธีการปกป้องทรัพยากรน้ำ อย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญยิ่ง การสร้างความตระหนักและจิตสำนึกด้านทรัพยากรน้ำ เพื่อช่วย ป้องกันและลดความรุนแรงของความเสื่อมโทรมของทรัพยากรน้ำนั้น ต้องปลูกฝังโดยการจัดการศึกษา ทั้งในและนอกระบบการศึกษา เริ่มตั้งแต่เยาวชนไปจนถึงประชาชนทุกคน ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้ เรื่องทรัพยากรน้ำ เพื่อสร้างความตระหนักและสามารถแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น

โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซิงเทรา เป็นโรงเรียนในสังกัด สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน (สช) ตั้งอยู่บริเวณแหล่งชุมชน กลางเมืองเซิงเทรา และตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมักถูกใช้เป็นแหล่ง รองรับน้ำทิ้งและของเสียจากชุมชนที่อยู่สองริมฝั่งแม่น้ำ รวมถึงน้ำทิ้งจากการเกษตร ฯลฯ ซึ่งเป็นผล ทำให้น้ำในแม่น้ำเกิดการเน่าเสีย และมีขยะจำนวนมาก กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของท้องถิ่น (กรมควบคุมมลพิษ. 2541: 115) ด้วยเหตุนี้โรงเรียน จึงได้จัดหลักสูตรสถานศึกษาให้สอดคล้องกับ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สำหรับหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาวิทยาศาสตร์ พื้นฐาน ได้กล่าวถึงสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการนำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้นักเรียนมีพฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้การรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างรู้คุณค่า และร่วมมือกับชุมชนในการป้องกันดูแลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น (กระทรวงศึกษาธิการ. 2551: 75) ดังนั้น โรงเรียน มีหน้าที่ให้ความรู้แก่นักเรียนและชุมชน เรื่องการป้องกันและการแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำ และสร้างให้นักเรียน เกิดความตระหนัก ผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ถ้านักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาทรัพยากรน้ำ และมีความตระหนักถึงความสำคัญของการรักษาทรัพยากรน้ำ จนนำไปปฏิบัติได้ นักเรียนจะมีส่วนร่วม และเห็นความสำคัญของการแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำของชาติในอนาคต นักเรียนจะเป็นผู้ช่วย เผยแพร่ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับการดูแลรักษาทรัพยากรน้ำ ให้อยู่ในสภาพที่ดี รักษาสมดุลทรัพยากรน้ำ ให้แก่ชุมชนและท้องถิ่น อันจะก่อให้เกิดการสร้างสรรค และพัฒนาทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมต่อไป จึงเป็นหน้าที่ของครูโดยตรงในการพัฒนาเยาวชนของชาติ ให้เกิดความตระหนักต่อปัญหาทรัพยากรน้ำ และเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ

ในการนี้ผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ได้บูรณาการสอนเรื่องทรัพยากรน้ำในรายวิชาดังกล่าว โดยมุ่งเน้น และปลูกฝังให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ทักษะ เจตคติ ความรับผิดชอบ การปฏิบัติตนที่เหมาะสมต่อทรัพยากรน้ำ เพื่อให้เกิดความตระหนักถึงปัญหา และผลกระทบอันเนื่องมาจากการทำลายทรัพยากรน้ำ และเพื่อให้ทรัพยากรน้ำที่มีคุณค่าได้รับการนำไปใช้อย่างประหยัด และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเริ่มจากการให้ความรู้เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำ เป็นการประเมินความรุนแรง หาสาเหตุความสกปรกของน้ำ โดยจะต้องตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเพื่อสืบหาสาเหตุของความสกปรก และระดับของความสกปรก การตรวจสอบคุณภาพน้ำ ทำได้หลายวิธี แบ่งได้เป็นวิธีทางเคมี ทางกายภาพและชีวภาพ ค่าที่ใช้ประเมินความสกปรกและประเภทของความสกปรกในแหล่งน้ำเรียกว่าดัชนีคุณภาพน้ำ (มันสิน ตันทกุลเวศม์. 2538: 15) ซึ่งวิธีทางกายภาพที่นิยมตรวจสอบคือ อุณหภูมิ กลิ่น สีและความขุ่น วิธีทางเคมีที่นิยมตรวจสอบคือ ดีโอ (DO) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำซึ่งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุของความสกปรกของน้ำ ปริมาณออกซิเจน จึงมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ บีโอดี (BOD) เป็นค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ ทำให้ทราบความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ซีโอดี (COD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี แสดงให้เห็นปริมาณสารอินทรีย์ ที่เป็นสาเหตุของน้ำเน่าเสีย หากมีค่ามากแสดงว่าน้ำสกปรกมาก ส่วนวิธีทางชีวภาพ ได้มีการพัฒนาใช้สิ่งมีชีวิตมาช่วยในการตรวจวิเคราะห์ เนื่องจากลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ สามารถบ่งชี้ถึงมลภาวะ หรือการรบกวนได้ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีวงชีวิตยาว สามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเชิงระยะเวลา ได้เมื่อเกิดการรบกวน การใช้วิธีทางชีวภาพในการวิเคราะห์คุณภาพแหล่งน้ำนั้น สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำได้ดี เช่น *Euglena* sp. เมื่อโตเต็มที่ จะเกิดฝ้าสีเขียวหรือแดงบนผิวน้ำ สามารถดำรงชีวิตในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง (เชาว์ ทวีผล. 2519: 91) นอกจากนี้ ในยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย ยังมีการใช้

สิ่งมีชีวิตกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หน้าดินและแมลงน้ำอย่างแพร่หลาย (นฤมล แสงประดับและคณะ. 2541: 12) โดย พบว่า แมลงน้ำ (Aquatic insect) ซึ่งเป็นตัวอ่อนของแมลง ที่มีช่วงชีวิตหนึ่งอาศัยอยู่ในน้ำ มีหลายชนิด มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ เนื่องจากแมลงน้ำมีขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นง่ายด้วยตาเปล่า เคลื่อนย้ายได้น้อย มีแนวโน้มอาศัยอยู่ในสถานที่เดียว ใต้อาการถูกรบกวนและฟื้นตัวได้ เช่นแมลงในอันดับ Diptera (หนอนริ้นน้ำจืด) ลักษณะพิเศษ คือ แมลงกลุ่มนี้จะหายใจทางผิวหนัง ใช้ออกซิเจนน้อย หนอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำได้เป็นเวลานาน แมลงอันดับ Diptera (ลูกน้ำ) ลักษณะพิเศษ คือ แมลงกลุ่มนี้จะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซกับอากาศโดยตรง ทำให้สามารถอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำได้ ในขณะที่แมลงอันดับ Odonata (ตัวอ่อนแมลงปอ) แมลงกลุ่มนี้จะหายใจทางเหงือก ใช้ออกซิเจนจากน้ำเพียงทางเดียว จึงพบในน้ำที่มีออกซิเจนสูง แมลงอันดับ Coleoptera (ตัวงน้ำ) แมลงกลุ่มนี้ จะพบมากในบริเวณหาข้าวที่มีการเน่าเปื่อยของหญ้า หรือฟางข้าว (เพ็ญประภา เพชรบูรณ์. 2548: 24)

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า แมลงน้ำเป็นสิ่งมีชีวิต ที่สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ อย่างไรก็ตาม การจัดเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับชนิดและจำนวนของแมลงน้ำ ยังไม่ได้กระทำกันอย่างแพร่หลายนัก ดังนั้น ผู้วิจัย จึงมีแนวคิดในการศึกษาข้อมูล จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การสำรวจและเก็บตัวอย่างแมลงน้ำและคุณภาพน้ำในสถานที่จริงบริเวณ ตำบลบางดินเปิด อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อรวบรวมข้อมูลและจัดทำเอกสาร เพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เรื่องทรัพยากรน้ำในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ซึ่งจากการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์จุดประสงค์ มีคะแนนต่ำกว่าร้อยละ 60 ซึ่งให้เห็นว่า นักเรียนยังขาดความรู้ ขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับการประเมินคุณภาพน้ำ ผู้วิจัย จึงมีแนวคิดในการพัฒนา โดยจัดทำเป็นคู่มือ (Hand Books) ซึ่งหมายถึง สมุดหรือหนังสือ ที่แต่งขึ้นเพื่อใช้ประกอบวิชาและอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องใดเรื่องหนึ่ง (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2525: 126) โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง คุณภาพน้ำกับแมลงน้ำ มีภาพประกอบ เพื่อดึงดูดความสนใจ เพื่อความสะดวกในการค้นคว้า และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย (สุโขทัยธรรมาราช. 2532: 229) และ ยุพรศ วังยาฉิม (2540: 33) ได้กล่าวว่า คู่มือสามารถใช้หลักและสื่อประกอบในการสอน ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ไม่จำกัดเวลาตายตัว นอกจากนี้ยังเป็นสื่อที่ประหยัดลงทุนน้อยได้ผลคุ้มค่า ดังนั้น ผู้วิจัย จึงมีแนวคิดสร้างคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ เพื่อใช้ประกอบการเรียน เรื่องทรัพยากรน้ำ เพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้ และฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแนวทางการดำเนินการวิจัยเริ่มจาก รวบรวมข้อมูลจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำ เลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณโรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา แบ่งจุดเก็บตัวอย่างตามการใช้สภาพที่ดินที่หลากหลาย เพื่อเก็บตัวอย่างข้อมูลแมลงน้ำพร้อมศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณที่พบ นำผลที่ได้มาจัดทำคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำ ภายในประกอบด้วยวิธีการใช้คู่มือ การใช้อุปกรณ์และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น หลังจากสร้างคู่มือแล้วนำไปประเมินคุณภาพคู่มือ โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะทำได้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำ ที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการนำไปใช้ประกอบ

การเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เพื่อพัฒนาให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางเรียน ด้านความรู้ และเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับการประเมินคุณภาพน้ำเพิ่มขึ้น

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา ให้มีคุณภาพภาพ ระดับดีขึ้น
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา
3. เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจนักเรียน ที่มีต่อคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำ เป็นตัวบ่งชี้

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับประกอบการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่องทรัพยากรน้ำ
2. พัฒนานักเรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้านความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
3. เป็นแนวทางในการจัดทำคู่มือประกอบการเรียนการสอนในวิชาอื่นๆ

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จำนวนนักเรียนทั้งหมด 242 คน แบ่งเป็น 6 ห้องเรียน จัดแบบคละผลการเรียน ห้องเรียนละ 40 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จำนวน 1 ห้องเรียน ใช้วิธีสุ่มอย่างง่ายโดยการจับฉลาก 1 ห้องเรียน จากทั้งหมด 6 ห้องเรียน

พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

แหล่งน้ำในบริเวณชุมชนรอบโรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา แบ่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำตามสภาพใช้ที่ดิน แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ บริเวณที่อยู่อาศัย บริเวณโรงงานอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม (สวนผัก สวนผลไม้ และนาข้าว)

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ

1.1 คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

2. ตัวแปรตาม

2.1 คุณภาพของคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้านความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หลังการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา

2.3 ความพึงพอใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา ที่มีต่อคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **คู่มือ** หมายถึง สื่อสิ่งพิมพ์ ในลักษณะหนังสือขนาดเล็ก (handbook) มีเนื้อหา วิธีการใช้ และภาพประกอบเพื่อความสะดวกในการค้นคว้า (สุโขทัยธรรมาธิราช, 2532: 229) ในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึงคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ประกอบด้วยวิธีการใช้คู่มือ เนื้อหาคุณภาพน้ำเบื้องต้น อุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างภาพแมลงน้ำ ชื่อ ลักษณะเด่น ระดับคะแนนที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ วิธีการประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

2. **การพัฒนาคู่มือ** หมายถึง การสร้างคู่มือขึ้นมาใหม่หรือพัฒนาคู่มือเดิมที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นอย่างมีระบบ มีการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ หรือมีการทดลองใช้กับกลุ่มทดลอง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพหรือทั้งสองอย่าง ก่อนนำไปใช้

3. **การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ** หมายถึง การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น ของน้ำ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นดัชนีประเมินผลเบื้องต้น โดยการสำรวจ และจำแนกสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตแล้วนำมาเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

4. **แมลงน้ำ** หมายถึง แมลงหรือตัวอ่อนของแมลงที่มีชีวิต หรือช่วงหนึ่งของชีวิตอาศัยอยู่ในน้ำ พบตามแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น พบมากในน้ำจืดและน้ำกร่อย พบน้อย หรือเกือบไม่พบเลยในน้ำเค็ม

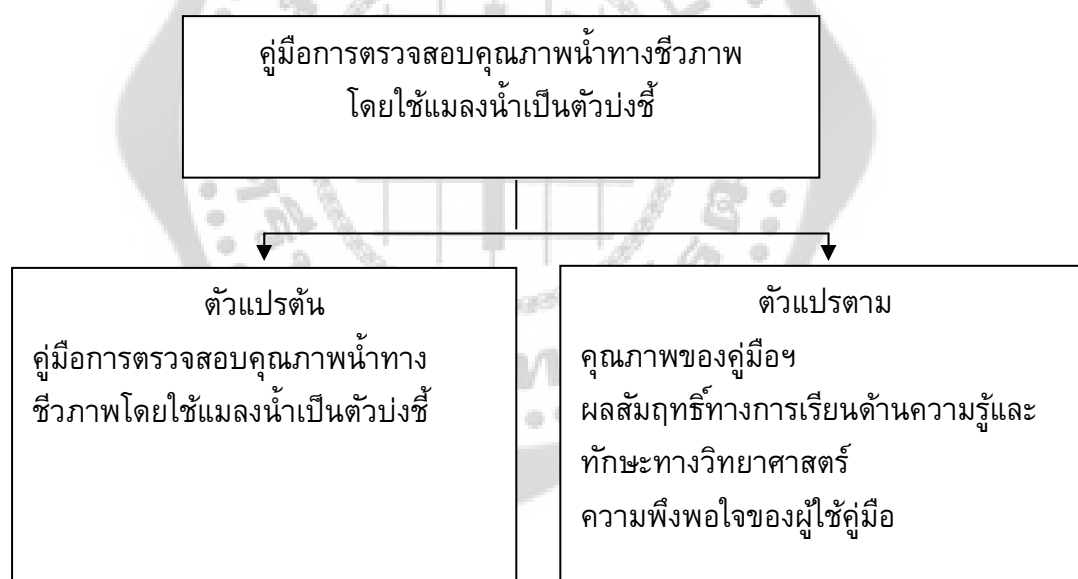
5. **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน** หมายถึง ผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการใช้คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียน ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

6. **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้** หมายถึง ความรู้ที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีระบบ ในที่นี้ หมายถึง ความรู้ที่เกิดขึ้นจากการใช้คู่มือฯ วัดโดยใช้แบบทดสอบวัดความรู้หลังเรียน

7. **ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์** หมายถึง ทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นระหว่างทำกิจกรรมโดยใช้คู่มือฯ วัดโดยใช้แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

8. **ความพึงพอใจ** หมายถึง ความรู้สึกหรือทัศนคติที่ดี เป็นผลให้เกิดความกระตือรือร้น ความสนใจ ความมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ด้วยคู่มือฯ โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินเป็น 5 ระดับ ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นเครื่องมือวัดความรู้สึกหรือทัศนคติของนักเรียนที่มีต่อคุณภาพของงาน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้วัดความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือฯ ในเรื่องของรูปลักษณ์ความน่าสนใจของเนื้อหา การจัดภาพ เนื้อหา กิจกรรมและความสะดวกในการใช้

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

1. คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์จະเซิงเทรามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ ดีขึ้นไป
2. นักเรียนมีความรู้หลังการใช้คู่มือฯ ร้อยละ 80 ขึ้นไปและมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นไป
3. นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการใช้คู่มือฯ ระดับพึงพอใจมากขึ้นไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์เซนต์โยเซฟคอนเวนต์ กรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยค้นคว้าและรวบรวมเอกสารและงานวิจัย
ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำและการใช้แมลงน้ำ
เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคู่มือ
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำและการใช้แมลงน้ำเป็น ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

1.1 ความหมายของคุณภาพน้ำ

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ให้ความหมาย
ของคุณภาพน้ำว่า หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำในแง่ของการอุปโภคบริโภค มีคุณสมบัติเหมาะสม
ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารต่างๆ ที่ละลายในน้ำนั้นๆ มั่นสิน ตันกุลเวศม์ (2538: 8) ได้ให้
ความหมายของคำว่าคุณภาพน้ำ คือ คุณสมบัติของน้ำทั้งในด้านฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา คุณภาพ
ด้านฟิสิกส์ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ น้ำ คุณสมบัติด้านเคมีคือสภาวะ ออxygen ในน้ำ สารที่อยู่ในสภาพแขวนลอย
ทั้งยังอาจมีสารที่เป็นพิษต่อมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิต คุณสมบัติทางชีววิทยา คือ เชื้อไวรัสที่อาศัยอยู่ในน้ำ
สาหร่ายหรือสิ่งมีชีวิตในน้ำอื่นๆ คำว่าคุณภาพน้ำ หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรม
ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ จะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ
ปัจจัยของสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ลักษณะของธรณีวิทยา
พืชพรรณธรรมชาติ รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

คุณภาพน้ำประกอบด้วย

1. คุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส ความขุ่น เป็นต้น
2. คุณภาพน้ำทางเคมี เช่น ความเป็นกรดด่าง ความกระด้าง ออกซิเจนละลายน้ำ
คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรต แอมโมเนีย ฟอสเฟต บีโอดี ซีโอดี ความเค็ม โลหะหนัก เป็นต้น
3. คุณภาพของน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ น้ำที่มีสิ่งมีชีวิตเจือปน เช่น แพลงก์ตอนพืช
แพลงก์ตอนสัตว์ แบคทีเรีย พืชน้ำ และเชื้อโรคอื่นๆ เป็นต้น

1.2 ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ เป็นสิ่งบ่งบอกสภาพของน้ำโดยทั่วไป โดยมีได้ระบุโดยตรงว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง เช่นเดียวกันกับการบอกสภาพร่างกายของคนว่าสมบูรณ์แข็งแรง หรือป่วยแค่ไหน แต่มีได้ชี้ให้เห็นโดยตรงว่า คนที่มีอาการอย่างนั้นจะทำอะไรได้บ้าง (ซึ่งคนป่วยไม่มากก็ยังทำงานบางอย่างได้) ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (General Water Quality Index) เป็นสิ่งบ่งบอก ระดับคุณภาพน้ำว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ดีพอใช้หรือต่ำ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าแม่น้ำดังกล่าวจะต้องดำเนินการควบคุมดูแลอย่างไรบ้าง ซึ่งกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2550: 26 – 28) ได้กล่าวถึงดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำที่สำคัญ 8 ตัวชี้วัด ดังนี้

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
2. ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)
3. ความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD)
4. แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)
5. ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$)
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)
7. ความขุ่น (Turbidity)
8. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

สอดคล้องกับดัชนีคุณภาพน้ำของ มั่นสิน ตันตกุลเวศม์ (2538: 5) ซึ่งกล่าวว่า ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำมี ดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำที่สำคัญมากตัวหนึ่ง เพราะทำให้เห็นว่าแหล่งน้ำนั้นเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือไม่ นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงความสามารถของลำน้ำ ที่จะรองรับความสกปรกได้มากน้อยเพียงใด
2. ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand : BOD) เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ถ้าแหล่งน้ำไม่มีค่าบีโอดีสูง แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีความสกปรกสูงด้วย โดยทั่วไปการวิเคราะห์ค่าบีโอดี เป็นการตรวจวัด ความต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำทางชีวภาพ ซึ่งแบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ
3. แบคทีเรียจำพวกโคลิฟอร์ม (Total Coliform Bacteria) เป็นดัชนีที่สำคัญดัชนีหนึ่งที่ใช้ประกอบในการพิจารณาคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพของแหล่งน้ำ แบคทีเรียพวกนี้มีมากในน้ำเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนการเน่าเสียของสารอินทรีย์
4. แบคทีเรียจำพวกฟีคัลโคลิฟอร์ม (Faecal Coliform Bacteria) เป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำทางชีวภาพ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการแพร่กระจายของเชื้อโรคในแหล่งน้ำเป็นอย่างดี เพราะแบคทีเรียพวกนี้เป็น (Normal Flora) ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่นรวมทั้งมนุษย์และสัตว์เลี้ยงทั่วไป การปนเปื้อนของแบคทีเรียชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนของอุจจาระมนุษย์และสัตว์น้ำ

5. ปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metal) เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำที่สำคัญมากตัวหนึ่ง เพราะเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์มาก โดยปกติปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำทั่วไป จะมีระดับต่ำเพราะสามารถตกตะกอนได้ดีในน้ำ แต่เนื่องจากไม่สามารถถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียได้ จึงเกิดการสะสมอยู่ในแหล่งน้ำมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นโคลนตม การสะสมในห่วงโซ่อาหารส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น และก็มาถึงผู้บริโภค คือ มนุษย์นั่นเอง สารเคมีตกค้างจากการเกษตรเป็นดัชนีที่มีผลกระทบในทางลบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะส่วนที่เป็นอาหารของมนุษย์มากเพราะสามารถสะสมในสาหร่ายเซลล์เดียว และสัตว์น้ำรวมทั้งปลาในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่ปรากฏในน้ำมากมายหลายเท่า

6. ไนเตรต – ไนโตรเจน (Nitrate – Nitrogen) สารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญในน้ำอย่างหนึ่งก็คือ ไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน เพื่อใช้เป็นอาหารของคนและสัตว์ต่อไป ไนเตรตเกิดจากการที่มีชีวิตปล่อยของเสีย ซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนออกมา และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง โปรตีนภายในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งพืชนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการ แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ โดยแบคทีเรียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตต่อไป ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรตในปริมาณน้อยมักต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และอย่างสูงก็ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรตสูงเกินไป อาจทำให้เกิดการเกิดโรค (Methemoglobinemia) ดังนั้น จึงกำหนดให้น้ำดื่มไม่ควรมีไนเตรตเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538: 172)

7. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายเซลล์เดียว แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำมาจาก 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ ผงซักฟอก ซึ่งมีสารประกอบของฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยในปริมาณค่อนข้างสูง ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตรทั่วไป และแหล่งสุดท้าย ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่มาจากการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน

สรุปได้ว่า ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำคือคุณสมบัติของน้ำที่ผันแปรตามปัจจัยต่างๆ สามารถตรวจวัดได้แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ น้ำมีสารแขวนลอย สี กลิ่น รส ความขุ่น การนำไฟฟ้า อุณหภูมิ เป็นต้น
2. คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ออกซิเจนละลายน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ในเตรต แอมโมเนีย ฟอสเฟต บีโอดี ซีโอดี คลอไรด์ ความเค็ม ซัลเฟต ยาปราบศัตรูพืช โลหะหนัก ผงซักฟอก เป็นต้น
3. คุณภาพของน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ น้ำที่มีสิ่งมีชีวิตเจือปน เช่น แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ แบคทีเรีย พืชน้ำ และเชื้อโรคอื่นๆ เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้เน้นการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ หมายถึงการใช้แมลงน้ำแต่ละชนิดบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537

1.3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ ทำให้ทราบระดับการปนเปื้อนมลพิษของน้ำ ซึ่งกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2550: 30 - 38) ได้แบ่งการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้เป็น 3 วิธี คือ

1. การตรวจคุณภาพน้ำทางกายภาพ

1.1 อุณหภูมิ (Temperature) คือ ระดับความร้อน อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำลำธารสาธารณะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำสูงเกินไปและยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส เครื่องมือ คือ เทอร์โมมิเตอร์ (Mercury Filled Thermometer) ชนิดอ่านออกมาเป็นองศาเซลเซียส

1.2 สี (Color) ต้องเก็บตัวอย่างน้ำในภาชนะแก้วที่สะอาดและควรวิเคราะห์หาค่าทันทีที่เก็บตัวอย่างมา แต่ถ้าไม่สามารถทำได้จะต้องเก็บไว้ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.2.1 สีปรากฏ (Apparent Color) เกิดจากสารแขวนลอยต่างๆ

1.2.2 สีแท้ (True Color) ซึ่งเป็นสีของน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชหรืออนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ วิธีวัดสีแท้ของน้ำตามธรรมชาติ สีของน้ำเทียบได้กับสีที่เกิดจากเกลือแพลตตินัมในรูปของโพแทสเซียมคลอโรแพลตตินेट (K_2PtCl_6) สีที่เกิดขึ้นจากสารประกอบแพลตตินัมนี้จะเป็นสีเหลืองที่คล้ายกับสีธรรมชาติ และถ้าผสมโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$) เล็กน้อยลงไปจะทำให้มีสีเหมือนธรรมชาติมากขึ้น เกลือแพลตตินัม ดังกล่าวเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีสีเข้มข้น 1 หน่วย วิธีวัดสีโดยวิธีเปรียบเทียบด้วยตามีดังนี้

1. วิธีเปรียบเทียบโดยใช้หลอดเนสเลอร์

2. วิธีเปรียบเทียบโดยใช้ Test Kit

1.3 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น หมายถึง สิ่งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ ความขุ่นของน้ำเกิดจากสิ่งแขวนลอยนานาชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน อาจเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (Scattered) และดูดซึม (Absorbed) ของแสงแทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง สิ่งแขวนลอยที่เป็นความขุ่นในน้ำจะเป็นสิ่งใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำที่ไหลผ่าน ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า ความขุ่นเป็นลักษณะสมบัติเฉพาะของน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินมักไม่มีความขุ่น ความขุ่นสามารถสังเกตได้ง่าย สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ

1.3.1 วัดปริมาณแสงที่ส่องทะลุความขุ่น (Turbidimetry)

1.3.2 วัดปริมาณแสงที่กระทบความขุ่นและสะท้อนออกมาในทิศทางตั้งฉากกับลำแสง (Nephelometry)

1.4 กลิ่น นำตัวอย่างน้ำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น เขย่าจนได้กลิ่นน้อยที่สุด และทำให้เป็น 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิห้อง ในเออร์เลนเมเยอร์พลาสติกที่สะอาดค่อยๆ สูดกลิ่น

ไม่ควรเขย่าแรงๆ หรือเขย่าถี่เกินไป เพื่อป้องกันกลิ่นระเหยออกไปปิดจุกขวด นำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำมาเขย่าเบาๆ แล้วสูดกลิ่น แล้วนำมาหาค่า T. O. N.

$$T.O.N = \frac{A+B}{A}$$

เมื่อ

A = ลูกบาศก์เซนติเมตร ของตัวอย่างน้ำ

B = ลูกบาศก์เซนติเมตร ของน้ำที่ปราศจากกลิ่นที่นำมาเจือจาง

1.5 การนำไฟฟ้า ใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) วัดค่าการนำไฟฟ้าตามคู่มือของเครื่อง

2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี

2.1 พี เอช (pH) โดยใช้เครื่องวัดพีเอช

2.2 ความกระด้างของน้ำ โดยการไตเตรตด้วยอีดีทีเอ (EDTA Titrimetric Method)

2.3 ออกซิเจนละลาย หรือดีโอ (Dissolved Oxygen, DO) มีวิธีวิเคราะห์โดยใช้วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก (Azide Modification of Iodometric Method)

2.4 ความต้องการออกซิเจนหรือบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เตรียมตัวอย่างน้ำที่หาค่า DO แล้วรินตัวอย่างน้ำใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด ปิดจุกให้สนิท ใส่ น้ำหล่อ ที่ปากขวดน้ำขวดหนึ่งให้หาค่า DO อีกขวดหนึ่งนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน นำน้ำตัวอย่าง 2 ขวด มาหาค่า DO โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{บีโอดี (มก/ลบ.ซม.)} = D_1 - D_2$$

เมื่อ

D_1 = ค่า DO ที่ไทเทรตในวันแรก (DO_1)

D_2 = ค่า DO ที่ไทเทรตในวันที่ห้า (DO_5) (เฉลี่ย 2 ขวด)

2.5 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยวิธีการรีฟลักซ์

2.6 ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids; TSS) โดยวิธีการอบแห้ง

2.7 ของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid; TDS) โดยวิธีการอบแห้ง

2.8 ของแข็งทั้งหมด (Total Solid; TS) โดยวิธีการอบแห้ง

2.9 แอมโมเนีย – ไนโตรเจน (Ammonia – Nitrogen) โดยวิธีการไตรเตอร์ชัน

2.10 การวิเคราะห์หาคะกำ โดยวิธีไดไทโซน

2.11 การวิเคราะห์หาไขมันและน้ำมันโดยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet Method)

3. การตรวจคุณภาพน้ำทางชีวภาพ

3.1 การศึกษาสาหร่าย นำน้ำตัวอย่างมาตรวจหาชนิดของสาหร่ายโดยศึกษารูปร่าง และลักษณะของสาหร่ายที่พบ จัดจำแนกสาหร่ายที่พบ ตั้งแต่อาณาจักรถึงระดับสปีชีส์ บันทึกภาพ โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ

3.2 การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย การตรวจหาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count) นำตัวอย่างมาเขย่า 25 ครั้ง แล้วปิเปิดน้ำตัวอย่างมาทำให้เจือจาง 1 : 10 และ 1 : 100 ตามลำดับ ในสารละลาย Buffer dilution Water ใส่ตัวอย่างที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร ลงใน Petri – Dish ตัวอย่างละ 2 Plate นำอาหาร Typtone Glucose Extract Agar ที่อุ่นไว้ที่ อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส ใน Water Bath เทลงใน Petri – Dish ที่ใส่ตัวอย่างน้ำแล้วประมาณ Plate ละ 12 – 15 มิลลิลิตร หมุน Plate เบาๆ เพื่อให้ตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อผสมเข้ากันและกระจายไปทั่วจาน ทิ้งไว้ให้เย็นจน Agar แข็งตัว นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 35 – 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำ Plate ที่มีโคโลนี 25 – 250 โคโลนี เนื่องจากจำนวนโคโลนีแบคทีเรียที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 25 หรือมากกว่า 300 โคโลนี จะให้ค่า ความผิดพลาดมาก มีระดับความน่าเชื่อถือต่ำ คำนวณหาจำนวนแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำ

จำนวนแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำ 1 มิลลิลิตร = จำนวนโคโลนี x อัตราการเจือจางของน้ำตัวอย่าง

3.3 การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยวิธี MPN (Most Probable Number) หรือ Multiple Tube Fermentation Technique ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การตรวจสอบขั้นประมาณการ (Presumptive Test)
2. การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed Test)
3. การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed Test)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ว่า มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ ทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธี มีลักษณะการนำไปใช้งานต่างกันแล้วแต่จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

แมลงน้ำเป็นแมลงที่อาศัยอยู่ในน้ำ หรือมีช่วงหนึ่งของชีวิตอาศัยอยู่ในน้ำ หรือตลอดชีวิต อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น แมลงน้ำส่วนมากอาศัยอยู่ในน้ำจืดมากกว่าน้ำกร่อย ส่วนในน้ำทะเลพบได้น้อยมาก การจัดจำแนกแมลงน้ำ แมลงน้ำมี 13 อันดับ คือ Collembola, Ephemeroptera, Donata, Plecoptera, Orthoptera Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera Coleoptera, Diptera, Lepidoptera, Trichoptera, Hymenoptera (นฤมล แสงประดับ. 2548: 25 - 27) แมลงน้ำถูกนำมาใช้ประเมินผลกระทบ ติดตาม คุณภาพและตรวจวัดมลพิษทางน้ำอย่างกว้างขวาง นฤมล แสงประดับ (2548: 22) โดยมีเหตุผล ดังนี้

1. แมลงน้ำส่วนมากมีอายุขัยยาวนานประมาณ 1 ปี ดังนั้น จึงสามารถแสดงผลลัพธ์ของการสะสม (cumulation) ของสภาพแวดล้อมเป็นระยะเวลายาวนานได้

2. วิธีการเก็บตัวอย่าง มีการพัฒนาจนได้เป็นวิธีการมาตรฐาน และความรู้ด้านอนุกรมวิธาน มีการศึกษาเป็นอย่างดีแล้วในแมลงหลายกลุ่ม
3. แมลงน้ำบางชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและมีการฟื้นตัวช้า ทำให้สามารถเห็นร่องรอยของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้
4. แมลงน้ำมีสมาชิกอยู่ในทุกกลุ่มของ Functional Groups และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเชื่อมโยงระหว่างผลผลิตปฐมภูมิกับลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงขึ้นในสายใยอาหาร
5. เป็นวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม Hellawell (1989: 5) โดยใช้แนวคิดเรื่องสปีชีส์บ่งชี้ (Indicator species) เป็นการตรวจวัดคุณภาพน้ำในลำธารและแม่น้ำโดยใช้ตัวชี้วัดชีวภาพ (Bioindicator) ถือกำเนิดขึ้นในประเทศเยอรมัน เมื่อปี ค.ศ. 1909 โดยนักธรรมชาติวิทยา 2 ท่าน คือ Kolkwitz และ Marsson (Kolkwitz; & Marsson. 1909: 98 – 103) ได้พัฒนาแนวคิดเรื่อง ระบบ ซาโปรเบียน (Saprobien system) สำหรับการระบุมลพิษจากสารอินทรีย์ในแม่น้ำ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ได้ทำบัญชีรายชื่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวบ่งชี้กลุ่มต่างๆ เช่น จุลินทรีย์ สาหร่าย เห็ดรา โปรโตซัว และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบปรากฏในน้ำที่มีระดับมลพิษแตกต่างกันสำหรับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินนั้น ตัวอ่อนแมลงชีปะขาวและตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำถูกจัดจำแนกไว้ในดัชนีสัตว์ที่ไม่ทนทานต่อภาวะออกซิเจนต่ำ (intolerant index) ซึ่งพบสัตว์เหล่านี้อาศัยอยู่ในน้ำคุณภาพดี หนอนร็น้ำจืดหรือที่มักเรียกกันว่า หนอนแดง (*Chironomus*) และไส้เดือนน้ำจืด (*Tubifex*) ถูกจัดไว้ในกลุ่มสัตว์ที่มีความทนทานต่อภาวะออกซิเจนต่ำ (tolerant index) ซึ่งพบสัตว์ทั้งสองประเภทหลังนี้ในแหล่งน้ำที่มีมลพิษ วิธีการของแนวคิดนี้ได้ถูกนำไปใช้ และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง จากหลายประเทศในทวีปยุโรป แต่ได้รับความสนใจน้อยในทวีปอเมริกาเหนือ เนื่องจากสะท้อนเพียงมลพิษจากของเสียอินทรีย์ไม่ใช่ของเสียจากสารพิษ ซึ่งเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดปัญหาในประเทศสหรัฐอเมริกา (Cairns; & Pratt. 1993: 7) ระบบซาโปรเบียนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับใช้ประเมินคุณภาพน้ำในยุโรปตอนกลางหลายประเทศ โรแบ็ค (Cairns; & Pratt. 1993: 45; citing Roback. 1974) ไม่เห็นด้วยกับแนวคิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของแมลงน้ำ เขาได้ให้เหตุผลว่าการปรากฏตัวและไม่ปรากฏตัวของแมลงน้ำในแหล่งน้ำหนึ่งๆ อาจไม่ขึ้นกับคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว แต่อาจขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ความสามารถในการเข้ามาครอบครองพื้นที่ของแมลงชนิดนั้นๆ ฤดูกาล หรือ กระแสน้ำ หรือ ลักษณะพื้นที่อาศัย เป็นต้น นอกจากนี้แมลงน้ำบางชนิดมีความทนทานต่อมลพิษในช่วงที่กว้างมาก ทฤษฎีพลวัตโครงสร้างชุมชนของ แม็คอาเธอร์ และ วิลสัน (MacArthur; & Wilson. 1967) อธิบายเกี่ยวกับอัตราการหมุนเวียนของสิ่งมีชีวิตซึ่งแต่ละชนิดซึ่งแต่ละชนิดอาจหายไปบางช่วงเวลา และมีแนวคิดในการพิจารณาสิ่งมีชีวิตในภาพรวมคือ การพิจารณาทั้งชุมชนเกิดขึ้น ระบบซาโปรเบียน ได้รับความสนใจด้อยลงและหลายประเทศในทวีปยุโรปได้เลิกใช้ไปเมื่อประมาณกลางปี ค.ศ. 1970 (Metcalf. 1989: 5) ต่อมาผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ส่งผลเสียหายรุนแรงขึ้น แต่แนวคิดเกี่ยวกับสปีชีส์ บ่งชี้ไม่สามารถตอบสนองต่อการประเมินผลกระทบและการติดตามคุณภาพแหล่งน้ำได้ดีพอ นักนิเวศวิทยา จึงได้ให้ความสนใจต่อแบบแผนของการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายชนิดและความชุกชุมหรือโครงสร้างชุมชนทั้งหมดของสัตว์ โดยการพัฒนาดัชนีชีวภาพหลากหลายแบบ (Biotic Indices) และ ระบบค่าคะแนน (Score System) เพื่อประเมิน

สภาพระบบนิเวศ (Cairns; & Pratt. 1993: 24; citing Guhl. 1987) วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในทวีปยุโรป (Hellowell. 1989: 9)

ดัชนีชีวภาพและระบบค่าคะแนนมีความหลากหลายและแตกต่างกันในแต่ละประเทศระบบค่าคะแนนจากการพิจารณาชุมชนสัตว์ (Biological Monitoring Working Party : BMWP) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Chandler core (Chandler. 1970: 5) ได้รับความนิยมมากที่สุด ระบบนี้ได้รับการพัฒนาในสหราชอาณาจักร เพื่อเป็นวิธีการมาตรฐานสำหรับดัชนีชีวภาพที่ใช้สำรวจแม่น้ำที่มีมลพิษ ตัวอย่างสัตว์ถูกเก็บด้วยวิธีเชิงคุณภาพและการตรวจเอกลักษณ์ถึงระดับวงศ์ ยกเว้นกลุ่มของไส้เดือนน้ำจืดที่คงไว้เป็นกลุ่มใหญ่เช่นเดิม ค่าคะแนนจาก 1 ถึง 10 ถูกกำหนดให้กับสัตว์ในระดับวงศ์ โดยสัตว์วงศ์ที่ไม่ทนทานต่อมลพิษมีคะแนนสูงกว่าสัตว์วงศ์ที่ทนทานต่อมลพิษได้มากกว่า (Amitage; et al. 1983: Abstract) ผลรวมคะแนนของสัตว์ทั้งหมดที่พบในสถานีหนึ่งๆ คือ ค่าคะแนนรวมของสถานีนั่นๆ ซึ่งหากมีหลายสถานีสามารถนำค่าคะแนนรวมของแต่ละสถานีมาเปรียบเทียบกัน สถานีที่มีค่าคะแนนมากกว่า แสดงว่ามีคุณภาพน้ำดีกว่า

ระบบค่าคะแนน BMWP เป็นที่นิยมและถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง สำหรับการติดตามคุณภาพน้ำ อย่างไรก็ตามได้มีข้อคิดเห็นว่า แมลงบางวงศ์มีความทนทานต่อมลพิษได้กว้าง (Cairns. 1982) และเพื่อลดความแปรปรวนจากผลของฤดูกาล และความกว้างของความทนทานในระดับวงศ์ ค่าคะแนน BMWP ได้ถูกดัดแปลงโดยหารคะแนนรวมด้วยจำนวนวงศ์ทั้งหมดที่พบในตัวอย่างนั้น ค่าที่ได้ เป็นค่าเฉลี่ย เรียกว่า Average Score Per Taxa (ASPT) วิธีการของคะแนน BMWP ถูกดัดแปลง และนำมาใช้กับหลายประเทศนอกทวีปยุโรป เช่น แอฟริกา (Chutter. 1972: 35) ออสเตรเลีย (Campbell. 1982; Chessman. 1995: 115) และ เอเชีย เช่น ประเทศอินเดีย (de Zwart and Trivedi. 1994: 203) รวมทั้งประเทศไทย (Mustow. 1997; นฤมล แสงประดับ. 2541: 5) สำหรับที่ประเทศออสเตรเลียพบว่า มีสัตว์หลายวงศ์ที่ไม่มีในรายการของ BMWP และสัตว์หลายรายการใน BMWP ไม่พบในประเทศออสเตรเลีย ดังนั้น จึงได้มีการคิดรายชื่อขึ้นใหม่สำหรับใช้ในประเทศออสเตรเลีย โดยเฉพาะ เรียกว่า SIGNAL (Stream Invertebrate Grade Number-Average Level)

สำหรับการใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ในงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้ร่วมกับ Biomonitoring Working Party (BMWP) score ซึ่งก็คือ ค่าคะแนนที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่นักนิเวศวิทยาน้ำจืดกำหนดให้แก่สัตว์หน้าดินแต่ละชนิดหรือแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีความทนทานต่อสภาพมลพิษหรือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำแตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียด ดังนี้

กลุ่มที่ทนต่อสภาพมลพิษ หรือทนทานต่อสภาพมลพิษน้อย แต่มีความต้องการออกซิเจนสูง มีคะแนนในช่วง 10 – 7 คะแนน โดยไล่มาตามลำดับจากที่มีความทนทานต่ำจนถึงที่มีความทนทานสูงขึ้น

กลุ่มที่ทนต่อสภาพมลพิษปานกลาง และต้องการออกซิเจนไม่มากเท่ากลุ่มแรก จะมีคะแนนในช่วง 6 – 5 คะแนน

กลุ่มที่ทนต่อสภาพมลพิษค่อนข้างมาก และมีความต้องการออกซิเจนน้อย จะมีคะแนนอยู่ในช่วง 4 – 3 คะแนน

กลุ่มที่ทนต่อสภาพมลพิษสูงและต้องการออกซิเจนน้อยมาก จะมีคะแนนอยู่ในช่วง 2 – 1 คะแนน กลุ่มที่มีคะแนนมากจะมีอัตราการเผาผลาญสูง ใช้ระบบหายใจทางเหงือก จึงจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจสูง ส่วนกลุ่มที่มีคะแนนน้อยจะหายใจผ่านผิวหนังเป็นกลุ่มที่ต้องการออกซิเจนต่ำ หรือเกือบไม่ใช้ออกซิเจนเลย

การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้สัตว์หน้าดินนี้ นิยมศึกษากันในแหล่งน้ำไหล เช่น แม่น้ำ ลำธารมากกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง การศึกษาคุณภาพน้ำโดยใช้วิธีนี้กระทำโดยการประเมินจากค่าดัชนีทางชีวภาพ ซึ่งคำนวณมาจากการใช้ BMWP Score เป็นการให้คะแนนสัตว์หน้าดิน เพื่อจะใช้เป็นค่าดัชนีทางชีวภาพบ่งบอกคุณภาพน้ำ โดยกำหนดให้สัตว์หน้าดินที่มีความทนทานต่อคุณภาพน้ำที่ต่างกัน มีคะแนนแตกต่างกันอย่างชัดเจน สัตว์หน้าดินที่ทนทานต่อมลพิษน้อย มีคะแนนสูง ส่วนที่ทนต่อสภาพมลพิษมากมีคะแนนต่ำ

วิธีการใช้ BMWP Score (Biomonitoring Working Party Score) (สตีฟ มัสโทว; และ กชกร แสนนาม. 2002: 12 – 35) มีดังนี้

1. นำสัตว์หน้าดินชนิดต่างๆ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งวินิจฉัยเรียบร้อยแล้ว มาให้คะแนนตาม BMWP Score ของสัตว์หน้าดินทั่วไป จัดตาม Biotic Index of Thai Freshwater Invertebrates ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในสัตว์ที่อยู่ในน้ำที่มีคุณภาพต่างกันอย่างชัดเจน

2. นำคะแนนของสัตว์แต่ละชนิดมารวมกัน
3. นับจำนวนชนิดของสัตว์ที่พบและสามารถให้คะแนนได้
4. นำค่าที่ได้ในข้อ 3. มาหารคะแนนรวมของสัตว์ในข้อ 2.
5. ค่าที่ได้ในข้อ 4. จัดเป็นคะแนนเฉลี่ย (average score per taxa = ASPT)

คะแนนเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำซึ่งสามารถนำคะแนนเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและคุณภาพน้ำทั่วไป ตาม ตาราง 1

ตาราง 1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย (ASPT) จากการศึกษาสัตว์หน้าดิน เทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และคุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนนเฉลี่ย (ASPT)	* มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	คุณภาพน้ำทั่วไป
1 – 2 จัดอยู่ใน	ระดับ 5	น้ำสกปรก
3 – 4 จัดอยู่ใน	ระดับ 4	น้ำค่อนข้างสกปรก
5 – 6 จัดอยู่ใน	ระดับ 3	น้ำคุณภาพปานกลาง
7 – 8 จัดอยู่ใน	ระดับ 2	น้ำคุณภาพค่อนข้างดี
9 – 10 จัดอยู่ใน	ระดับ 1	น้ำคุณภาพดีจัดเป็นน้ำสะอาด

ที่มา: หน่วยวิจัยนิเวศวิทยาแมลงน้ำในแหล่งน้ำไหล คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญเสถียร บุญสูง (2544: 54) ได้กล่าวถึงสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ในระบบนิเวศน้ำจืดที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น แมลง หนอน หอยต่างๆ สัตว์เหล่านี้ มีความไวต่อสภาวะแวดล้อมโดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำซึ่งยากต่อการวิเคราะห์และตรวจหาทางเคมี แต่สามารถใช้สัตว์เหล่านี้เป็นดัชนีชีวภาพ รวมทั้งสามารถใช้บ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำนั้นๆ ได้ เช่น แมลงชีปะขาว วงศ์ Baetidae จะมีความทนทานต่อพิษในแหล่งน้ำได้สูง และตัวอ่อนของ *Baetis thermicus* จะมีความทนทานต่อมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก

มีนา กรมมี (2551: 78 – 79) ได้ทำการประเมินคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยใช้การจัดอันดับและวงศ์ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และระบบ ค่าคะแนน ASTP ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยทำการเก็บตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพ 11 พารามิเตอร์ พบว่า คุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพในบ่อบำบัดน้ำเสียดีขึ้นจากบ่อ แพล็คเทคิฟ บ่อปม 1, 2, 3 ตามลำดับ ในขณะที่สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีแนวโน้ม ลดจำนวนลง อันเป็นการบ่งชี้ภาวะการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง คือ กลุ่มแมลงสองปีกวงศ์ Tabanidae Syrphidae และ Chironomidae และกลุ่มที่มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนขึ้นอันเป็นการบ่งชี้การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ลดลง คือ กลุ่มแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) วงศ์ Baetidae

เพ็ญประภา เพชรบูรณ์ (2548) ได้ศึกษาสัตว์ที่เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยศึกษาระบบนิเวศบึงและระบบนิเวศในแหล่งน้ำ โดยระบบนิเวศแหล่งน้ำ ศึกษาความหลากหลายชนิดและจำนวนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแหล่งน้ำที่แบ่งตามประโยชน์การใช้งาน จำนวน 4 แหล่ง ทั้ง 3 ฤดู ใน 1 ปี แหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ด้านการประมง (บ่อประมงผสมผสาน) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยรวม 7 อันดับ 14 วงศ์ แหล่งน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ ปรับเสถียร) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยรวม 9 อันดับ 14 วงศ์ แหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ด้านประปา (อ่างเก็บน้ำสะพานขาว) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยรวม 7 อันดับ 16 วงศ์ และแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการ (บึงสีฐานฝั่งตะวันตก) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยรวม 7 อันดับ 13 วงศ์ ผลการประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์หน้าดิน โดยการใช้ BMWP Score พบว่า คุณภาพน้ำทั้ง 4 แหล่ง มีคุณภาพปานกลาง

นฤมล และคณะ (2548: 67) ได้ศึกษาดัชนีชีวภาพสำหรับการจัดจำแนกคุณภาพน้ำทางชีววิทยาในลุ่มน้ำพองด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและให้คะแนนสัตว์หน้าดินสำหรับจัดจำแนกคุณภาพน้ำขึ้น และเปรียบเทียบค่าคะแนนกับระบบ BMWP Score พบว่า กลุ่มตัวอ่อนของแมลงชีปะขาวเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญในการนำมาจัดจำแนกคุณภาพน้ำด้วยระบบค่าคะแนน

สรุปได้ว่า การประเมินคุณภาพน้ำนั้นวิธีการประเมินทางชีวภาพก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ซึ่งหนึ่งในสัตว์ที่นิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศคือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินซึ่งมากกว่า ร้อยละ 90 เป็นกลุ่มของแมลงน้ำซึ่งมีข้อดีคือ แมลงน้ำส่วนมากมีอายุขัยยาวนานประมาณ 1 ปี ดังนั้น จึงสามารถแสดงผลลัพธ์ของการสะสม (cumulation) ของสภาพแวดล้อมเป็นระยะเวลานาน มีวิธีการเก็บตัวอย่างมีการพัฒนาจนได้เป็นวิธีการมาตรฐาน และความรู้ด้านอนุกรมวิธาน

มีการศึกษาเป็นอย่างดีแล้วในแมลงหลายกลุ่ม แมลงน้ำบางชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม และมีการฟื้นตัวช้า ทำให้ยังสามารถเห็นร่องรอยของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ แมลงน้ำมีสมาชิกอยู่ในทุกกลุ่มของ Functional Groups และเป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญในการเชื่อมโยงระหว่างผลผลิตปฐมภูมิกับลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงขึ้นในสายใยอาหาร วิธีการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบการให้คะแนนสัตว์เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่เรียกว่า Biomonitoring Working Party Score และ ASPT (average score per taxa) คะแนนเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งง่ายต่อการเปรียบเทียบและอธิบาย ผู้วิจัยจึงได้นำความรู้เรื่องแมลงน้ำและการให้คะแนนสัตว์เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำมาใช้ร่วมกันในการพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำให้มีความสะดวก และง่ายต่อการนำไปใช้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำของนักเรียนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคู่มือ

2.1 ความหมายของคู่มือ

คู่มือ หมายถึง สมุดหรือหนังสือที่แต่งขึ้นเพื่อใช้ประกอบวิชา หรืออำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องใดเรื่องหนึ่ง (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2525: 126) คู่มือ (Hand Books) นิยมจัดทำเป็นรูปเล่มทำให้สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องนั้นได้มากขึ้น และมักจะมีภาพประกอบเพื่อดึงความสนใจและเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น มีขนาดประมาณ 4×7 นิ้ว ซึ่งอาจจะเล็กหรือใหญ่กว่านี้แล้วแต่การออกแบบ เพื่อความประหยัด สวยงาม หรือเพื่อความสะดวกในการจับถือ (สุโขทัยธรรมมาธิราช. 2528: 219 – 229) ทั้งนี้ บุญชม ศรีสะอาด (2546: 15) ให้คำจำกัดความว่า หนังสือคู่มือ (Hand Book) เป็นแหล่งสนเทศที่ให้ความรู้ในสาขาวิชานั้น ตัวอย่างได้แก่ Hand Book of Research on Teaching ฉบับปี 1963 มี กาจ เอ็น แอล (Gage, N. L.) เป็นบรรณาธิการ

จึงสรุปได้ว่า คู่มือเป็นสื่อสิ่งพิมพ์ในลักษณะของหนังสือที่ทำให้มีขนาดเล็ก (Booklet) พกพาได้สะดวก มีขนาดประมาณ 5×7 นิ้ว ประมาณ 100 – 150 หน้า เพื่อสะดวกในการถือหรือค้นคว้าความรู้ในสาขาวิชานั้น

2.2 ประโยชน์ของหนังสือคู่มือ

ยุพเรศ วัชยาณิม (2540: 33) กล่าวว่า คู่มือสามารถใช้หลักและสื่อประกอบในการสอนช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ไม่จำกัดเวลาตายตัว สามารถใช้เป็นหลักและสื่อประกอบในการสอน เมื่อใดก็ได้เมื่อมีความพร้อม นอกจากนี้ยังเป็นสื่อที่ประหยัด ลงทุนน้อยได้ผลคุ้มค่า เพราะสามารถนำมาใช้ได้หลายครั้ง หากอ่านบ่อยจะช่วยเพิ่มพูนความสามารถในการอ่าน ช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ละเอียด

2.3 การเขียนหนังสือคู่มือ

กัญญา ศิริกุล (2532: 242) ได้ให้หลักการเขียนคู่มือไว้ว่า ควรเขียนให้อ่านเพลิดเพลิน การจัดองค์ประกอบระหว่างภาพ และข้อความให้เหมาะสมสวยงาม และต้องอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับ

เรื่องนั้นสอดคล้องกันกับ เซอร์ และคณะ (สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก เซอร์ และคณะ) ได้กล่าวถึงหลักการเขียนในสื่อสิ่งพิมพ์ ซึ่งเป็นสื่อที่มีเป้าหมายไปสู่สาธารณชนไว้ว่า หลักการเขียนต้องให้อ่านง่าย เข้าใจง่าย ภาษาที่ใช้มีชีวิตชีวาและกระชับชัดเจน ในการเขียนเรื่องราวต่างๆ ให้เกิดความสนใจและติดตามประโยคนำมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง หรือในบางครั้งการใช้ภาษาพื้นเมืองที่ง่าย และการนำคำอุปมาต่างๆ มาใช้ ก็พบว่า เป็นสิ่งที่ทำหาย แต่สิ่งหนึ่งที่ขาดเสียไม่ได้ก็คือ การคำนึงถึงความรู้สึกและภาพสะท้อนที่กลับมาของผู้อ่าน และการเขียน เพื่อการสื่อความหมายธรรมชาติ สิ่งที่เราควรหลีกเลี่ยงโดยเด็ดขาดคือ การเขียนที่มีความอคติและลำเอียง เพื่อก่อให้เกิดความบาดหมางโดยใช้เรื่องเชื้อชาติ เผ่าพันธุ์ เพศ อายุ ตลอดจนการใช้ สรรพนามที่ไม่เหมาะสมและการเขียนที่ซ้ำซากจำเจ สำหรับกระบวนการเขียนนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาถึงหัวข้อ เรื่อง การวางโครงเรื่อง การเขียนฉบับร่าง การแก้ไขฉบับร่างก่อนจัดพิมพ์ ขณะที่ ฮิลล์ และ โนวล์ (สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก ฮิลล์ และ โนวล์) ได้แนะนำหลักการเขียนเผยแพร่ไว้ว่า ควรเขียนเปิดเผย ชัดเจน จริงใจ ยุติธรรม ชัดตรง เขียนตรงเข้าไปในเรื่องที่ต้องอธิบายใช้คำธรรมดาเขียนหรือบอกเพียงเรื่องเดียวและอย่าให้เป็นการยกย่องหรือดูถูกคนใดคนหนึ่ง

สอดคล้องกันกับ อนันต์ธนา อังกินันท์ (2538: 8) ได้ให้หลักการเขียนที่ดีไว้ว่า ควรใช้ข้อความและภาษาง่าย คนทั่วไปเข้าใจได้เป็นอย่างดี ใช้ศิลปะการพิมพ์ที่ดี เราใจผู้อ่านด้วยภาพประกอบตัวอักษรที่ใช้ตลอดจนการเข้าเล่ม เช่นเดียวกันกับ อนันต์ อนันตโชติ (สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก อนันต์ อนันตโชติ) ได้ให้หลักการเขียนไว้ว่า ต้องมีประโยชน์ (Useful) ช่วยกระตุ้นหรือสร้างสรรค์ให้นักท่องเที่ยวเกิดจินตนาการ ข้อมูลน่าเชื่อถือ อ่านได้ง่าย และเข้าใจ ถ้อยคำที่เข้าใจง่าย มีความสวยงาม มีการออกแบบที่ดี รูปภาพต่างๆ ที่ใช้จะต้องใช้ศิลปะในการจัดทำ การเลือกสีสันท่างๆ จะต้องเป็นไปในลักษณะค่อนข้างดึงดูดนักท่องเที่ยว กระดาษที่ใช้ควรเป็นกระดาษที่ค่อนข้างมีคุณภาพ ควรแก่การเก็บรักษา (Worth Keeping) จะต้องให้นักท่องเที่ยวรู้สึกที่จะเก็บรักษาไม่ยากทั้ง

2.4 การผลิตและออกแบบหนังสือคู่มือ

จากเอกสารการสอนชุดวิชาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสิ่งพิมพ์ ได้กล่าวถึง สิ่งพิมพ์ทั่วไป มีกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้ (สุโขทัยธรรมมาธิราช. 2528: 436 – 493)

1. การเขียนต้นฉบับ การเขียนต้นฉบับที่ดีผู้เขียนจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องที่เขียนเป็นอย่างดี กำหนดแนวทางการเขียนอย่างมีหลักเกณฑ์ โดยการวางโครงเรื่องอย่างเป็นระบบเลือกใช้วิธีการเขียนหรือภาษา ให้เหมาะสมเนื้อหาสาระที่ต้องการนำเสนอ ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์เรื่องราวที่จะนำมาเขียนให้ครบถ้วนสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ หรือจุดมุ่งหมายที่กำหนดสิ่งที่ต้องพิจารณาในการวิเคราะห์เรื่อง ได้แก่

พิจารณาขอบเขตเนื้อหาสาระ เพื่อกำหนดขอบเขตประเด็นต่างๆ และพยายามกำหนดเนื้อหาให้อยู่ในขอบเขตจำกัด

พิจารณาวัตถุประสงค์ เพื่อจะได้กำหนดรูปแบบวิธีการเขียนและเนื้อหาสาระให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้น ก่อนที่จะเขียนโครงเรื่องได้ ผู้เขียนมีความจำเป็น ต้องมีความรู้ความคิดเกี่ยวกับเรื่องที่จะเขียนเสียก่อน ดังนั้นผู้เขียนจึงจำเป็นต้องหาข้อมูลให้ได้มากที่สุด การจัดระเบียบความรู้และความคิด ในขั้นนี้ผู้เขียนจะต้องนำความรู้และความคิด ที่ได้รวบรวมไว้มาจำแนกแยกแยะเป็นหมวดหมู่ โดยกำหนดประเด็นเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ตามประเด็นหลัก ของเรื่องก่อน

เขียนโครงเรื่อง การเขียนโครงเรื่องอาจเขียนได้ 2 แบบ คือ เขียนในรูปหัวข้อ ซึ่ง เป็นการนำเอาประเด็นมาเขียนเป็นประโยคที่มีความเข้าใจสมบูรณ์

2. การตรวจแก้ไขต้นฉบับ จะต้องยึดถือรูปแบบของสื่อเป็นหลักในการพิจารณา ต้องมี การตรวจสอบเนื้อหาให้ถูกต้องตามข้อเท็จจริง เหมาะสมกับผู้อ่าน สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการผลิต ลักษณะของภาษาจะต้องคงเส้นคงวาและเหมาะสมประเภทของสื่อ

3. การเตรียมต้นฉบับเพื่อการจัดพิมพ์ จะต้องตรวจสอบจัดเตรียมต้นฉบับทั้งที่เป็น เนื้อความและเป็นภาพ รวมทั้งต้องกำหนดรายละเอียดในการพิมพ์ให้เรียบร้อย

4. การพิมพ์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตสื่อสิ่งพิมพ์ ซึ่งมีหลายขั้นตอน แต่ละ ขั้นตอนจะต้องมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กัน และทุกขั้นตอนมีความสำคัญเท่ากันหมด สิ่งพิมพ์จะมีราคาแพง หรือถูกขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้วัสดุ และเทคนิคที่เหมาะสม

เซอร์ และคณะ (สรัยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก เซอร์ และคณะ) กล่าวว่า การออกแบบหนังสือคู่มือ โดยทั่วไปแล้ว ใช้หลักการออกแบบเดียวกันกับสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ สิ่งสำคัญต้องรู้ว่าผู้อ่านคือใคร ใช้อ่านที่ไหน และเพื่อวัตถุประสงค์อะไร ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้สามารถตัดสินใจ ออกแบบรูปลักษณะและขนาดของหนังสือคู่มือได้ สำหรับหลักการพื้นฐานอย่างง่ายที่จะช่วยให้การออกแบบ ประสบความสำเร็จ ดังต่อไปนี้

1. ความสมดุล (Balance) ควรให้น้ำหนักในการจัดรูปแบบ ขอบเขตของเนื้อหา และภาพประกอบในแต่ละหน้าให้มีส่วนที่เหมาะสม

2. การลำดับ (Sequence) เป็นหนทางที่จะนำผู้อ่านไปสู่ความสนใจ โดยอาศัยหลักว่า ผู้ผ่านส่วนมากจะเริ่มอ่านจากมุมซ้ายบน และไล่สายตาจากหนังสือออกทางมุมขวาล่าง จากภาพใหญ่ ไปสู่ภาพเล็ก จากภาพสีไปสู่ภาพขาวดำ จากหัวข้อไปสู่เนื้อเรื่อง

3. ความแตกต่าง (Contrast) ทำให้สะดุดซึ่งช่วยให้ผู้อ่านมีใจจดจ่อและสนใจยิ่งขึ้น ความต่างที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น มักใช้ในเรื่องของความไม่เหมือนกันของขนาด รูปภาพ สีและรูปทรง

4. ความเรียบง่าย (Simplicity) เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบหนังสือคู่มือ ดังนั้น ในแต่ละหน้าจึงไม่ควรมียุทธศาสตร์และภาพประกอบจนแน่นขนัดหรือเติมแต่งสิ่งอื่นลงไปจนดูยุ่งเหยิง

5. สัดส่วน (Proportion) เป็นการพิจารณาเพื่อใช้เนื้อที่กระดาษ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เห็นว่าอัตราส่วนที่ใช้ควรจะเป็น 3 ต่อ 5 หรือ 3 ต่อ 4 จะทำให้น่าดู และเหมาะสมที่สุด

6. ความเป็นเอกภาพ (Unity) ความเป็นเอกภาพที่ดีนั้น คือ แต่ละส่วนจะต้องสมบูรณ์ และไปด้วยกันได้ภาพรวมทั้งหมด เช่น การใช้ตัวพิมพ์ กระดาษ และสีของหมึกพิมพ์ เป็นต้น

2.5 การพัฒนาคู่มือ

การที่จะให้คู่มือ ซึ่งเป็นสื่อการเรียนประเภทหนึ่งที่จะผลิตขึ้นใช้นั้น มีประสิทธิภาพต่อการให้ความรู้ความเข้าใจ ก่อนที่จะนำคู่มือไปใช้จริง จึงควรมีการพัฒนาให้ได้มาตรฐานเสียก่อน ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ ในการพัฒนาสื่อการเรียนต่างๆ คือ ขั้นตอนทดลองใช้และปรับปรุงแก้ไข โดยวิธีการในขั้นแรก เป็นการทดลองใช้เป็นรายบุคคล หรือการทดลองแบบ 1 ต่อ 1 แล้วปรับปรุงแก้ไข หลังจากนั้นเป็นการทดลองใช้กับกลุ่มเล็กประมาณ 5 – 10 คน แล้วปรับปรุงแก้ไขอีกครั้งหนึ่ง ขั้นสุดท้าย นำคู่มือที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขครั้งสุดท้ายแล้วไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ในสภาพจริง และทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นวิเคราะห์ผลหาประสิทธิภาพของคู่มือว่าสามารถนำไปใช้ได้หรือไม่ เพื่อพิจารณาผลิตใช้ต่อไป (บุญชม ศรีสะอาด. 2546: 76 – 100)

2.6 การผลิตคู่มือ

การผลิตคู่มือที่ได้พัฒนาแล้วให้เป็นรูปเล่มจริงขึ้นมานั้น จะเลือกใช้วิธีการใดย่อมขึ้นอยู่กับงบประมาณที่มีคุณภาพที่ต้องการ ข้อจำกัดในเรื่องเวลา และทรัพยากรอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตเพราะสิ่งต่างๆ เหล่านี้ เกี่ยวข้องกับกระบวนการในการผลิต ซึ่งมักจะเกี่ยวโยงไปถึงวิธีการในการผลิตเนื้อหา และหัวข้อเรื่อง การจัดทำภาพประกอบ การจัดวางรูปแบบเนื้อหาและงานกราฟฟิก การทำแม่พิมพ์ต้นแลและและการพิมพ์ออกมาเป็นรูปเล่ม (สร้อยทิพย์ สมัครงษการณ. 2543: 49; อ้างอิงจาก เซอร์ และคณะ)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยวัฒน์ อินเสน (2537: 77) ได้สร้างหนังสืออ่านเพิ่มเติมสิ่งแวดล้อมศึกษาเรื่อง “ป่าที่สวยงาม” สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยสรุปได้ว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองหลังจากที่อ่านหนังสืออ่านเพิ่มเติมสิ่งแวดล้อมศึกษาสูงกว่าคะแนนก่อนการอ่านหนังสือเพิ่มเติมสิ่งแวดล้อมศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ยุพเรศ วัชยาณิม (2540: 116) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “การพัฒนาคู่มือศึกษาธรรมชาติประจำเส้นทางเดินป่าในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่” เส้นทางที่ทำการ “อุทยานมอสสิงโต” และศึกษาพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวในการใช้คู่มือศึกษาธรรมชาติ สัมฤทธิ์ผลในการเรียนรู้ ความพึงพอใจและความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวต่อคู่มือที่สร้างขึ้น โดยทดลองใช้กับนักท่องเที่ยวเดินป่าในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ที่มีความรู้ ตั้งแต่มัธยมศึกษาตอนต้นขึ้นไป จำนวน 40 คน ทดลองแบบกลุ่มเดียว ไม่มีกลุ่มควบคุม (Pretest-Posttest Design) ผลการวิจัยปรากฏว่า คุณภาพของคู่มืออยู่ในเกณฑ์ดี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คู่มือมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีพฤติกรรมการใช้คู่มือโดยการอ่านบางส่วนและแลกเปลี่ยนความรู้ในกลุ่ม มีความคิดเห็นต่อคู่มือที่สร้างขึ้นว่ามีความน่าสนใจมาก และพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

แสงสุณี สุกุณนฤช (2542: บทคัดย่อ) ศึกษาวิจัยเรื่อง “การสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติม เรื่องป่าไม้ของกาญจนบุรี สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6” ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการอ่านและหลังการอ่านหนังสือของกลุ่มควบคุม พบว่า กลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการทดลอง (Pre – test) เท่ากับ 8.67 และมีคะแนนเฉลี่ยหลังการทดลอง (Post – test) เท่ากับ

12.20 ซึ่งเมื่อนำคะแนนทั้งสองชุดมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ t - test ปรากฏว่า คะแนนทั้งสองชุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้อ่านหนังสืออ่านเพิ่มเติม มีความรู้เรื่องป่าไม้กาญจนบุรี เพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้อ่านหนังสืออ่านเพิ่มเติม มีความรู้เพิ่มขึ้นจากความรู้พื้นฐานที่มีอยู่เดิม

ในขณะเดียวกัน ศิริพร สร้อยนาคพงษ์ (2543: 109) สาวิตรี ศรีสุข (2537: 61) และ ขวัญดาว (2546: 38) ได้กล่าวในทำนองเดียวกันว่า การใช้คู่มือประกอบการเรียนการสอนจะทำให้ผู้เรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้คู่มือมากกว่าก่อนใช้คู่มือและมีความรู้ เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาเอกสารจะเห็นว่าไม่ว่าจะเป็นหนังสือคู่มือหรือหนังสืออ่านเพิ่มเติมล้วนแล้วแต่ให้ประโยชน์กับนักเรียนอย่างมาก หนังสือเป็นสื่อที่ช่วยส่งเสริมการเรียนการสอน ทำให้มีความรู้เพิ่มขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาคู่มือการตรวจคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ที่มีข้อมูล ภาพประกอบและวิธีใช้ที่ชัดเจนสำหรับนักเรียนได้ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน และเผยแพร่ความรู้แก่ครอบครัวและชุมชนเพื่อร่วมกันรักษาน้ำให้มากขึ้น

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นความสามารถของนักเรียนในด้านต่างๆ ซึ่งเกิดจากนักเรียนได้รับประสบการณ์จากกระบวนการเรียนการสอนของครู โดยครูต้องศึกษาแนวทางในการวัดและประเมินผล การสร้างเครื่องมือวัดให้มีคุณภาพนั้น ได้มีผู้ให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ ดังนี้

สมพร เชื้อพันธ์ (2547: 53) สรุปว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ หมายถึง ความสามารถ ความสำเร็จและสมรรถภาพด้านต่างๆ ของผู้เรียนที่ได้จากการเรียนรู้อันเป็นผลมาจากการเรียนการสอน การฝึกฝนหรือประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข (2548: 125) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ขนาดของความสำเร็จที่ได้จากกระบวนการเรียนการสอน

ศุภพงศ์ คล้ายคลึง (2548: 27) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสำเร็จที่เกิดจากพฤติกรรมกระทำกิจกรรมของแต่ละบุคคล ที่ต้องอาศัยความพยายามอย่างมาก ทั้งองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสติปัญญาและองค์ประกอบที่ไม่ใช่สติปัญญา ซึ่งสามารถสังเกตและวัดได้ด้วยเครื่องมือทางจิตวิทยา หรือแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านต่างๆ

ปราณี กองจินดา (2549: 42) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสามารถหรือผลสำเร็จที่ได้รับจากกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและประสบการณ์เรียนรู้ทางด้านพุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย และยังได้จำแนกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ตามลักษณะของวัตถุประสงค์ของการเรียนการสอนที่แตกต่างกัน

จากความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังกล่าวผู้วิจัยสรุปได้ว่า หมายถึง ความสามารถที่เกิดขึ้นจากการเรียนรู้ของผู้เรียน ได้แก่ ความรู้ - ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในงานวิจัยครั้งนี้จะวัดความรู้ - ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย 4 ตัวเลือก และประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิชิต ฤทธิ์จัญญ (2545: 96) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ทักษะ และความสามารถทางวิชาการที่นักเรียนได้เรียนรู้มาแล้วว่าบรรลุผลสำเร็จตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้เพียงใด

สิริพร ทิพย์คง (2545: 193) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ชุดคำถามที่มุ่งวัดพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนว่ามีความรู้ ทักษะ และสมรรถภาพด้านสมรรถภาพด้านต่างๆ ในเรื่องที่เรียนรู้ไปแล้วมากน้อยเพียงใด

สมพร เชื้อพันธ์ (2547: 59) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบหรือชุดของข้อสอบที่ใช้วัดความสำเร็จ หรือความสามารถในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่เป็นผลมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนของครูผู้สอนว่า ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ตั้งไว้เพียงใด แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ประเภทที่ครูสร้างมีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้มี 6 แบบดังนี้

1. ข้อสอบอัตนัยหรือความเรียง (Subjective or Essay test) เป็นข้อสอบที่มีเฉพาะคำถาม แล้วให้นักเรียนเขียนตอบอย่างเสรี เขียนบรรยายตามความรู้และเขียนข้อคิดเห็นของแต่ละคน
2. ข้อสอบแบบกาถูก-ผิด (True-false test) คือ ข้อสอบแบบเลือกตอบที่มี 2 ตัวเลือก แต่ตัวเลือกดังกล่าวเป็นแบบคงที่ และมีความหมายตรงกันข้าม เช่น ถูก-ผิด ใช่-ไม่ใช่ จริง-ไม่จริง เหมือนกัน-ต่างกัน เป็นต้น
3. ข้อสอบแบบเติมคำ (Completion test) เป็นข้อสอบที่ประกอบด้วยประโยค หรือข้อความที่ยังไม่สมบูรณ์แล้วให้ตอบเติมคำหรือประโยค หรือข้อความลงในช่องว่างที่เว้นไว้นั้น เพื่อให้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง
4. ข้อสอบแบบตอบสั้นๆ (Short answer test) เป็นข้อสอบที่คล้ายกับข้อสอบ แบบเติมคำ แต่แตกต่างกันที่ข้อสอบแบบตอบสั้นๆ เขียนเป็นประโยคคำถามสมบูรณ์ (ข้อสอบเติมคำเป็นประโยค หรือข้อความที่ยังไม่สมบูรณ์) แล้วให้ผู้ตอบเขียนตอบ คำตอบที่ต้องการจะสั้นและกะทัดรัดได้ใจความสมบูรณ์ ไม่ใช่เป็นการบรรยายแบบข้อสอบอัตนัยหรือความเรียง
5. ข้อสอบแบบจับคู่ (Matching test) เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบชนิดหนึ่งโดยมีคำ หรือข้อความแยกออกจากกันเป็น 2 กลุ่ม แล้วให้ผู้ตอบเลือกจับคู่ว่า แต่ละข้อความในชุดหนึ่งจะคู่กับคำ หรือข้อความใดในอีกชุดหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างไรอย่างหนึ่งตามที่ผู้ออกข้อสอบกำหนดไว้

6. ข้อสอบแบบเลือกตอบ (Multiple choice test) คำถามแบบเลือกตอบโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ตอน คือ ตอนนำหรือคำถาม (Stem) กับตอนเลือก (Choice) ในตอนเลือกนั้นจะประกอบด้วยตัวเลือกที่เป็นคำตอบถูกและตัวเลือกลวง ปกติจะมีคำถามที่กำหนดให้พิจารณา แล้วหาตัวเลือกที่ถูกต้องมากที่สุดเพียงตัวเลือกเดียวจากตัวเลือกอื่นๆ และคำถามแบบเลือกตอบที่ดีนิยมใช้ตัวเลือกที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จึงเป็นวิธีการวัดความรู้ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบเลือกตอบ (Multiple choice test) เพื่อใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ด้านความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

นภาพร วงศ์เจริญ (2550: 60 – 61) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพหุปัญญา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 4 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2549 ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพหุปัญญา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จิรพร แขวงเพชร (2552: 71) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดกิจกรรมการอนุรักษ์ป่าไม้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนมัธยมขนาดนาอูปถัมภ์ จำนวน 34 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนด้วยชุดกิจกรรมการอนุรักษ์ป่าไม้ของนักเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ชูชาติ แพน้อย (2533) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเซิมพิทยาคม โดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เปรมวดี รักขาลี (2539: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และค่านิยมทางเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือครูแตกต่างกัน

จากการประมวลผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ความรู้และด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ควรให้นักเรียน

มีส่วนร่วมในการทดลอง การปฏิบัติจริง จะทำให้นักเรียนมีความรู้และเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น โดยความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จะพัฒนาขึ้นได้ ยังขึ้นอยู่กับ การฝึกฝน และปฏิบัติโดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งพัฒนาคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ทำให้นักเรียนนำไปใช้เพื่อพัฒนาความรู้และเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

4.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

จากการจัดจำแนกระดับความรู้สึกของ แครธวอลล์ และคณะ (ล้วน สายยศ; และ อังคณา สายยศ. 2543: 12 – 18; อ้างอิงจาก Krathwohl. 1964) พบว่า มี 5 ขั้น คือ การรับรู้ (Receiving) การตอบสนอง (Responding) การรู้คุณค่า (Valuing) การจัดระบบคุณค่า (Organization) และการสร้างลักษณะนิสัย โดยอาศัยคุณค่าที่ซับซ้อน (Characterization by a value complex)

พิน คงพล (2529: 21) ได้สรุปความหมายของความพึงพอใจไว้ว่า หมายถึง ความรู้สึกรักชอบ ยินดี เต็มใจหรือมีเจตคติที่ดีของบุคคลต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ความพึงพอใจจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับการตอบสนองความต้องการทั้งทางด้านวัตถุและด้านจิตใจ

อัจฉรา โทบุญ (2534) ให้ความหมาย ความพึงพอใจว่า ความพึงพอใจเป็นเรื่องเกี่ยวกับอารมณ์ ความรู้สึก และทัศนคติของบุคคลอันเนื่องมาจากสิ่งเร้าและสิ่งจูงใจ ซึ่งจะปรากฏออกมาทางพฤติกรรม และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำกิจกรรมต่างๆ ของบุคคล

อภิวรร มาขำ (2543: 29) กล่าวว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ทัศนคติหรือระดับความพึงพอใจของบุคคลต่อกิจกรรมต่างๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกิจกรรมนั้นๆ โดยเกิดจากพื้นฐานของการรับรู้ ค่านิยมและประสบการณ์ที่แต่ละบุคคลได้รับ ระดับของความพึงพอใจจะเกิดขึ้นเมื่อกิจกรรมนั้นๆ สามารถตอบสนองความต้องการแก่บุคคลนั้นได้

ก๊อต (สุทธิ ปันมา. 2535: 19; อ้างอิงจาก Good. 1973) อธิบายว่า ความพึงพอใจ หมายถึง สภาวะจิตที่ปราศจากความเครียด ทั้งนี้ เพราะธรรมชาติของมนุษย์มีความต้องการ ถ้าความต้องการนั้นได้รับการตอบสนองทั้งหมดหรือบางส่วนความเครียดจะน้อยลง ความพึงพอใจ ก็จะเกิดขึ้นและในทางกลับกันถ้าความต้องการนั้นไม่ได้รับผลการตอบสนอง ความเครียดและความไม่พึงพอใจก็จะเกิดขึ้น

วูลแมน (Wolman, B. 1973) กล่าวว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกมีความสุข เมื่อคนเราได้รับผลสำเร็จตามจุดมุ่งหมาย ความต้องการ หรือแรงจูงใจ

สรุปได้ว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ระดับความพอใจที่เป็นผลมาจากความสนใจสิ่งหนึ่งสิ่งใดของบุคคลและความสนใจดังกล่าว มีผลกระทบต่อนประสิทธิภาพหรือประสิทธิผลของงานนั้นๆ และในการวิจัยครั้งนี้ วัดความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของคู่มือฯ

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

กิตสุภา เจริญพร (2544: 106) ได้ศึกษาความพึงพอใจในการสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติมเรื่อง แนวปะการังไทย... บ้านหลังใหญ่ของสิ่งมีชีวิตใต้ทะเล สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออ่านเพิ่มเติม จำนวน 33 คน ปรากฏว่านักเรียนส่วนมากมีความพึงพอใจหนังสืออ่านเพิ่มเติมอยู่ในระดับดีมากในทุกๆ ส่วน รองลงมาอยู่ในระดับดี

ยุพเรศ วังฉายฉิม (2540: 116) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาคู่มือศึกษาธรรมชาติประจำเส้นทางเดินป่าในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เส้นทางที่ทำการ อุทยาน – มอสิงโต และศึกษาพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวในการใช้คู่มือศึกษาธรรมชาติ ผลสัมฤทธิ์ในการเรียนรู้ ความพึงพอใจและความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวต่อคู่มือที่สร้างขึ้น โดยทดลองใช้กับนักท่องเที่ยวเดินป่าในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ที่มีความรู้ตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นขึ้นไป จำนวน 40 คน ทดลองแบบกลุ่มเดียวไม่มีกลุ่มควบคุม (Pretest – Posttest Design) ผลการวิจัยปรากฏว่า คุณภาพของคู่มืออยู่ในเกณฑ์ดี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คู่มือมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีพฤติกรรมใช้คู่มือโดยการอ่านบางส่วนและแลกเปลี่ยนความรู้ในกลุ่มมีความคิดเห็นต่อคู่มือที่สร้างขึ้นว่ามีความน่าสนใจมากและมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ศศิพร สมบูรณ์ทรัพย์ (2542: 85) ศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาหนังสืออ่านเพิ่มเติมชุดป่า ห้องเรียนชีวิตสำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากงานวิจัยผลการประเมินความพึงพอใจหนังสืออ่านเพิ่มเติมอยู่ในระดับดีมาก รองลงมาอยู่ในระดับดี และส่วนน้อยที่มีความพึงพอใจในระดับพอใช้ เมื่อเปรียบแล้วเห็นว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมากจึงสรุปได้ว่าหนังสืออ่านเพิ่มเติมชุดป่า ห้องเรียนชีวิต มีคุณภาพดี เหมาะสมที่จะใช้ประกอบการเรียนการสอน

ศิริพร สร้อยนาคพงษ์ (2543: 109) ศึกษาวิจัย เรื่อง “การพัฒนาและทดลองใช้คู่มือท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา” ผลการวิจัยสรุปว่า คู่มือท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประกอบการท่องเที่ยวในพื้นที่อุทยานได้เป็นอย่างดี ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างพบว่า มีความพึงพอใจในระดับมาก และมีคะแนนสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้คู่มือท่องเที่ยวโบราณสถานมากกว่าก่อนการใช้คู่มืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 ซึ่งพอสรุปได้ว่านักท่องเที่ยวมีความรู้เพิ่มมากขึ้นหลังจากอ่านคู่มือซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

แสงสุณี สุกุลชนกฤช (2542: 75) ศึกษาวิจัยเรื่อง “การสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติม เรื่องป่าไม้ของกาญจนบุรี สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6” สรุปผลการวิจัยได้ว่า สร้างหนังสืออ่านเพิ่มเติมเรื่องป่าของกาญจนบุรี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้ สามารถนำไปใช้เป็นหนังสืออ่านเพิ่มเติมประกอบการเรียน การสอนวิชาสร้างเสริมประสบการณ์ชีวิต ระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ได้อย่างเหมาะสม เพราะนอกจากจะมีประสิทธิภาพทำให้นักเรียนมีความรู้เพิ่มเติมขึ้นแล้ว นักเรียนยังมีความพึงพอใจต่อคุณค่าของหนังสือในด้านต่างๆ เป็นอย่างมาก

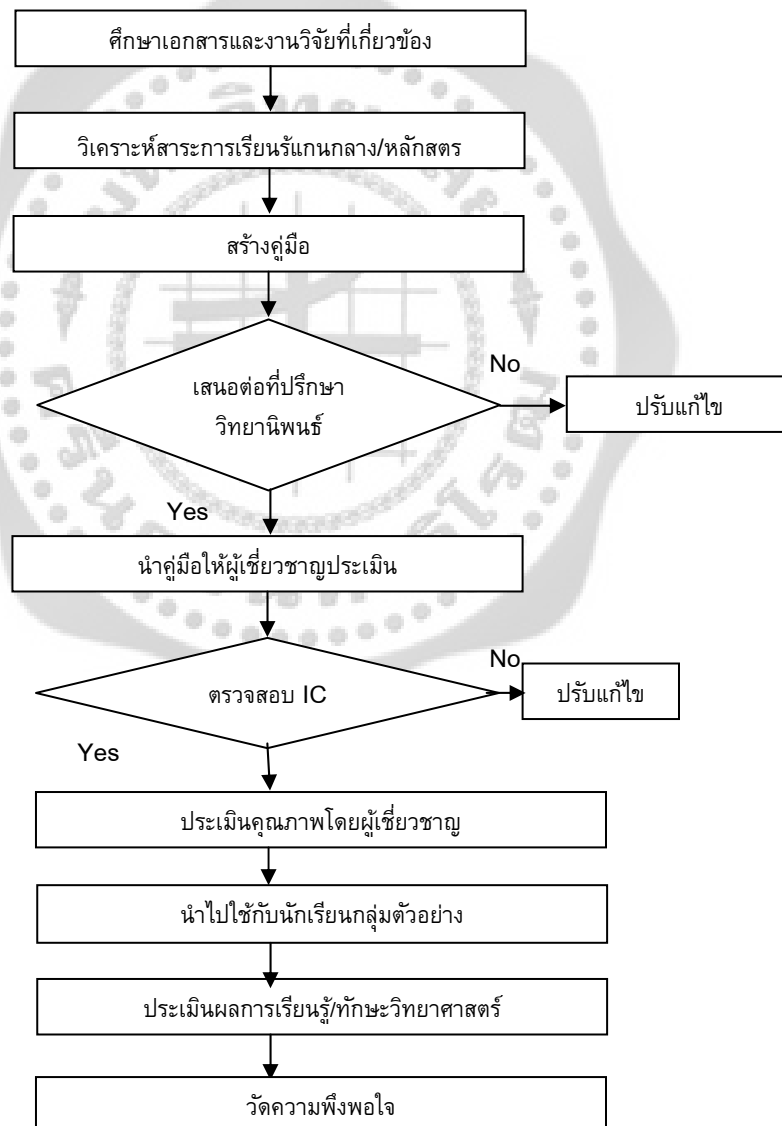
จากการประมวลผลงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ความพึงพอใจมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้าง เช่น ทำให้นักเรียนมีความรู้ สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียน การสอน สามารถนำไปใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน เป็นต้น ส่วนในการวิจัยนี้ การวัดความพึงพอใจของการใช้คู่มือการตรวจสอบคุณภาพนาทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ จะวัดคุณภาพ 3 ด้าน คือ คุณภาพด้านเนื้อหา คุณภาพด้านการใช้ภาษา คุณภาพด้านการจัดรูปแบบ และความคิดเห็นทั่วไป เกณฑ์คือ ระดับความพึงพอใจมากขึ้นไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนชนตล์หุยส์จะเชิงเทรา เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ด้วยการทดลองแบบกลุ่มตัวอย่างเดียว ทดสอบหลังการทดลอง (One group posttest only design) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540: 60 – 61) ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานตามขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังภาพประกอบ 2 มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาคู่มือฯ

แบ่งขั้นตอนได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน โดยมีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

1.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องในเรื่องแหล่งน้ำจืด คุณภาพน้ำ ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ และชนิดของแมลงน้ำที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำสำหรับตรวจสอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้การสำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน โรงเรียนเซนต์หลุยส์ชะเอมวิทยา ตั้งอยู่ที่ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมืองจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งอยู่ในแหล่งชุมชน และติดกับแม่น้ำบางปะกง แต่เนื่องจากแม่น้ำบางปะกงเป็นแหล่งน้ำไหลและน้ำในแม่น้ำเป็นน้ำเค็มเนื่องจากอยู่ใกล้ปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น น้ำลง จึงมักไม่พบแมลงน้ำอาศัยอยู่ ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้พื้นที่แหล่งน้ำนิ่งที่อยู่ใกล้บริเวณโรงเรียน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้แหล่งน้ำนิ่งบริเวณพื้นที่ ตำบลบางตีนเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นจุดเก็บตัวอย่างด้วยเหตุผลที่ว่าพื้นที่ดังกล่าว มีการใช้ที่ดินที่หลากหลาย มีการขยายตัวของพื้นที่ตั้งบ้านเรือน มีการใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมหลายรูปแบบ รวมทั้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางการเกษตรตามกระแสเศรษฐกิจและสังคมตลอดเวลา ณัฏฐิกา โตจินดา (2551: บทความ) โดยกำหนด จุดเก็บตัวอย่างตามสภาพการใช้ที่ดินที่หลากหลาย ประกอบด้วย บริเวณที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่การเกษตร (นาข้าว สวนผัก ผลไม้) เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ ที่สามารถครอบคลุมการใช้ประโยชน์จากที่ดินในจังหวัดฉะเชิงเทรา

1.2 เก็บตัวอย่างน้ำและแมลงน้ำโดยนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

1.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาตรวจสอบค่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นค่าดัชนีบ่งชี้ทางเคมีที่นิยมใช้ และประเมินคุณภาพน้ำได้ครอบคลุม

1.2.2 การจำแนกและวิเคราะห์ชนิดของแมลงน้ำที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยการศึกษาข้อมูลพื้นฐานจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาชนิดของแมลงน้ำจากการเก็บตัวอย่างน้ำมาส่งดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พร้อมถ่ายภาพ เพื่อนำมาจำแนกชนิดของแมลงน้ำ ที่พบในแหล่งน้ำ พร้อมทั้งนำภาพมาประกอบในคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

1.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับชนิดของแมลงน้ำที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลที่ได้ศึกษาชนิดของแมลงน้ำ และผลจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านแมลงน้ำ จำนวน 1 ท่าน โดยเลือกผู้ที่มีประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับแมลงน้ำ อย่างน้อย 3 ปี และมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแมลงน้ำ เป็นที่ยอมรับในระดับประเทศ วัตถุประสงค์การนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ผลงานที่เป็นที่ยอมรับ

1.4 สรุปผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแหล่งน้ำประกอบกับเอกสารงานวิจัยที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในคู่มือได้แก่ข้อมูลชนิดของแมลงน้ำที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

2. การสร้างและพัฒนาคู่มือฯ

ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการสร้างและพัฒนา คู่มือฯ ดังนี้

2.1 กำหนดความคิดรวบยอดและวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องทรัพยากรน้ำ

2.2 กำหนดแนวการเขียน ขอบเขต และโครงเรื่อง

2.3 จัดทำคู่มือฯ ฉบับร่างในลักษณะคำบรรยาย ภายในคู่มือฯประกอบด้วย

2.3.1 วิธีการใช้คู่มือฯ

2.3.2 เนื้อหาคุณภาพน้ำเบื้องต้นและดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

2.3.3 การใช้อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำและวิธีการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ

2.3.4 ชนิดของแมลงน้ำที่นิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำซึ่งประกอบด้วย

2.3.4.1 รูปภาพของแมลงน้ำแต่ละชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำเบื้องต้น

2.3.4.2 ชื่อวิทยาศาสตร์

2.3.4.3 ลักษณะเด่น

2.3.4.4 แหล่งที่พบ

2.3.5 วิธีการจำแนกชนิดของแมลงน้ำ

2.3.6 วิธีการประเมินผลคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

2.4 การประเมินคุณภาพคู่มือ โดยให้ประธานตรวจความถูกต้อง นำคู่มือฯ ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินความสอดคล้องของคู่มือฯ กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ โดยกำหนดค่าความสอดคล้อง (IC) ที่ตั้งไว้มากกว่า 0.5 ขึ้นไปและประเมินคุณภาพของคู่มือฯ ผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ ทางด้านแมลงน้ำ 1 ท่าน ด้านคุณภาพน้ำ 1 ท่าน ด้านการศึกษา (วัดและประเมินผล) 1 ท่าน ด้าน การสอนวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน และ ด้านการสร้างคู่มือ 1 ท่าน เพื่อประเมินทางคุณภาพด้านเนื้อหา ด้านการใช้ภาษา ด้านการจัดภาพประกอบ ด้านการจัดรูปแบบและความคิดเห็นเพิ่มเติมด้านอื่นๆ โดย กำหนดคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

2.4.1 วุฒิการศึกษาระดับปริญญาเอก ประสบการณ์ทำงาน 1 – 3 ปี หรือ

2.4.2 วุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท ประสบการณ์ทำงาน 5 ปีขึ้นไป

เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน คือ ดีมาก ดี พอใช้ ควรปรับปรุง และไม่มีคุณภาพ คิดเป็น คะแนน คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ (กฤษฎา ลำไย. 2534: 158 – 159; อ้างอิงจาก ขวัญดาว พุกกะวนิช. 2546: 48) โดยมีเกณฑ์ ดังนี้

- | | | |
|---|---------|----------------------|
| 5 | หมายถึง | มีคุณภาพดีมาก |
| 4 | หมายถึง | มีคุณภาพดี |
| 3 | หมายถึง | มีคุณภาพพอใช้ |
| 2 | หมายถึง | มีคุณภาพต้องปรับปรุง |
| 1 | หมายถึง | ไม่มีคุณภาพ |

เกณฑ์การแปลความหมายระดับคะแนน มีดังนี้

4.50 – 5.00	หมายถึง	มีคุณภาพระดับ ดีมาก
3.50 – 4.49	หมายถึง	มีคุณภาพระดับ ดี
2.50 – 3.49	หมายถึง	มีคุณภาพระดับ พอใช้
1.50 – 2.49	หมายถึง	ต้องปรับปรุงแก้ไข
1.00 – 1.49	หมายถึง	ไม่มีคุณภาพ

เกณฑ์การประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด ต้องมีระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป จึงถือว่าคู่มือที่สร้างขึ้นมีคุณภาพที่ดีเพียงพอสำหรับนำไปใช้ทดลองแต่หากไม่ผ่านตามเกณฑ์ดังกล่าว ผู้วิจัยต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขใหม่ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญพร้อมกับให้ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดประเมินอีกครั้งจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ผลการประเมินคุณภาพ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เกี่ยวกับคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้อยู่ในระดับดี สามารถนำมาทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้

ขั้นตอนที่ 2 การทดลองใช้คู่มือฯ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จำนวน 6 ห้องเรียนห้องเรียนละ 40 คน รวมนักเรียนทั้งหมด 242 คน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย (Sample Random Sampling) จำนวน 1 ห้องเรียน ใช้วิธีสุ่มอย่างง่ายโดยการจับฉลาก 1 ห้องเรียนจากทั้งหมด 6 ห้องเรียน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือ คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ซึ่งภายในประกอบด้วย

1. วิธีการใช้คู่มือฯ
2. เนื้อหาคุณภาพน้ำเบื้องต้นและดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ
3. การใช้อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำและวิธีการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ
4. ชนิดของแมลงน้ำที่นิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำซึ่งประกอบด้วย
 - 4.1 รูปภาพของแมลงน้ำแต่ละชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำเบื้องต้น
 - 4.2 ชื่อวิทยาศาสตร์
 - 4.3 ลักษณะเด่น
 - 4.4 แหล่งที่พบ
5. วิธีการจำแนกชนิดของแมลงน้ำ

6. วิธีการประเมินผลคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยให้นักเรียนนำคู่มือฯ ไปใช้ในชั่วโมงที่เรียนนิเวศวิทยาศาสตร์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทดลองภาคสนาม เป็นเวลา 2 วัน (รวมเวลา 17 ชั่วโมง)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
2. แบบประเมินคุณภาพของคู่มือโดยผู้เชี่ยวชาญ
3. แบบทดสอบวัดความรู้แบบปรนัย 4 ตัวเลือก
4. แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
5. แบบประเมินความพึงพอใจหลังการใช้คู่มือ

1. คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้มีขั้นตอนการดำเนินการหลังจากสร้างเป็นคู่มือฯ โดย

1. นำคู่มือฯ ที่สร้างมาตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านแมลงน้ำ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคุณภาพน้ำ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางการศึกษา (การประเมินผล) 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางการสร้างคู่มือ 1 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ด้านการใช้ภาษา ด้านการจัดภาพประกอบ ด้านการจัดรูปแบบ และความคิดเห็นเพิ่มเติมด้านอื่นๆ โดยกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดต้องมีระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป จึงถือว่า คู่มือที่สร้างขึ้นมีคุณภาพที่ดีเพียงพอสำหรับนำไปใช้ทดลองต่อไปโดยมีเกณฑ์ดังนี้

- | | | |
|---|---------|----------------------|
| 5 | หมายถึง | มีคุณภาพดีมาก |
| 4 | หมายถึง | มีคุณภาพดี |
| 3 | หมายถึง | มีคุณภาพพอใช้ |
| 2 | หมายถึง | มีคุณภาพต้องปรับปรุง |
| 1 | หมายถึง | ไม่มีคุณภาพ |

เกณฑ์การแปลความหมายระดับคะแนนมีดังนี้

- | | | |
|-------------|---------|--------------------|
| 4.50 – 5.00 | หมายถึง | มีคุณภาพระดับดีมาก |
| 3.50 – 4.49 | หมายถึง | มีคุณภาพระดับดี |
| 2.50 – 3.49 | หมายถึง | มีคุณภาพระดับพอใช้ |
| 1.50 – 2.49 | หมายถึง | ต้องปรับปรุงแก้ไข |
| 1.00 – 1.49 | หมายถึง | ไม่มีคุณภาพ |

2. แบบประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

การสร้างแบบประเมินคุณภาพคู่มือฯ สำหรับผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเนื้อหา ด้านแหล่งน้ำ ด้านการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ด้านการศึกษา และด้านการสร้างหนังสือ และความคิดเห็นเพิ่มเติมด้านอื่นๆ เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน คือ ดีมาก ดี พอใช้ ควรปรับปรุง และไม่มีคุณภาพ คิดเป็นคะแนน คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ (กฤษฎา ลำไย. 2534: 158 – 159; อ้างอิงจาก ขวัญดาว พุกกะวนิช. 2546: 48) โดยมีเกณฑ์ ดังนี้

- 5 หมายถึง มีคุณภาพดีมาก
- 4 หมายถึง มีคุณภาพดี
- 3 หมายถึง มีคุณภาพพอใช้
- 2 หมายถึง มีคุณภาพต้องปรับปรุง
- 1 หมายถึง ไม่มีคุณภาพ

เกณฑ์การแปลความหมายระดับคะแนนมีดังนี้

- 4.50 – 5.00 หมายถึง มีคุณภาพระดับดีมาก
- 3.50 – 4.49 หมายถึง มีคุณภาพระดับดี
- 2.50 – 3.49 หมายถึง มีคุณภาพระดับพอใช้
- 1.50 – 2.49 หมายถึง ต้องปรับปรุงแก้ไข
- 1.00 – 1.49 หมายถึง ไม่มีคุณภาพ

การสร้างแบบประเมินคุณภาพคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แหล่งน้ำเป็นตัวอย่าง โดยผู้เชี่ยวชาญ แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว

ตอนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แหล่งน้ำเป็นตัวอย่าง

ตอนที่ 3 การแสดงความคิดเห็นทั่วไปเกี่ยวกับคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แหล่งน้ำเป็นตัวอย่าง

นำแบบประเมินคุณภาพคู่มือฯ ที่สร้างเสร็จให้กับผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ใช้ประเมินคู่มือฯ โดยใช้เกณฑ์การประเมินคุณภาพตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไปจึงถือว่ามีคุณภาพ แล้วก็ทำการปรับปรุงแก้ไข เพื่อสร้างเป็นคู่มือฯ ที่จะนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง สถิติพื้นฐานที่ใช้ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. แบบประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับการใช้คู่มือฯ

3.1 ลักษณะแบบประเมิน

แบบประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับการใช้คู่มือฯ เป็นแบบที่ใช้วัดความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้มีการเรียนรู้โดยใช้คู่มือฯ ประเมินด้านรูปเล่ม การจัดภาพ เนื้อหา ความเข้าใจในเรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นโดยใช้แหล่งน้ำเป็นตัวอย่าง และเกณฑ์ที่ใช้ประเมินแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่

- 5 หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด
- 4 หมายถึง ความพึงพอใจมาก
- 3 หมายถึง ความพึงพอใจปานกลาง
- 2 หมายถึง ความพึงพอใจน้อย
- 1 หมายถึง ความพึงพอใจน้อยที่สุด

เกณฑ์การแปลความหมายระดับคะแนนมี ดังนี้

- 1 – 1.79 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด
- 1.8 – 2.59 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย
- 2.60 – 3.39 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง
- 3.40 – 4.19 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก
- 4.20 – 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบบกลุ่มเดียว ทำการวัดผลหลังเรียน (One group posttest only design) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540: 60 – 61)

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 โดยทำการทดลองใช้คู่มือฯ กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในชั่วโมงวิทยาศาสตร์ เป็นเวลา 3 คาบเรียนและทำกิจกรรมโดยใช้คู่มือ เป็นเวลา 2 วันๆ ละ 7 ชั่วโมง (17 ชั่วโมง)

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 ติดต่อผู้อำนวยการโรงเรียนเพื่อขออนุญาตทดลองใช้คู่มือฯกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2.2.2 ชี้แจงให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทราบถึงการเรียนรู้โดยคู่มือฯ ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ นักเรียนได้ปฏิบัติตนได้อย่างถูกต้อง

2.2.3 ดำเนินกิจกรรมตามคู่มือฯ

2.2.4 ให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความรู้และแบบวัดความพึงพอใจหลังการใช้คู่มือฯ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. พัฒนาเครื่องมือ วิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1.1 วิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงของคู่มือฯ แบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบประเมินคุณภาพของการใช้คู่มือฯ โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IC)

2. ทดสอบสมมติฐาน

2.1 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของคู่มือฯ ตามเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

2.2 วิเคราะห์ความพึงพอใจจากแบบประเมินความพึงพอใจ โดยหาค่าเฉลี่ยและร้อยละ

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยกระทำโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 11.5

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

1. สถิติพื้นฐาน

1.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้สูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540: 137) ดังนี้

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

เมื่อ $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
 $\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนน
 N แทน จำนวนตัวอย่าง

1.2 หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน (Standard Deviation) โดยใช้สูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540: 141)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ $S.D.$ แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน
 $\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง
 $(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง
 N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

2. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

2.1 หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมที่ต้องการวัดของแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยผู้เชี่ยวชาญ

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

เมื่อ IC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามตามเนื้อหาพื้นที่ต้องการ
 $\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดของผู้เชี่ยวชาญ
 N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

3.1 ทดสอบสมมติฐานข้อ 1 โดยใช้ โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย Mean (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543: 137 – 139)

3.2 ทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 ใช้การคำนวณค่าเฉลี่ย Mean (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543: 137 – 139) และ สถิติ t-test one group มีสูตร ดังนี้ (พิศิษฐ์ ตันทวนิช. 2553: 174)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{SD}{\sqrt{n}}}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

μ แทน เกณฑ์ร้อยละ 80 ของคะแนน 40 คือ 32

SD แทน คะแนนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากกลุ่มตัวอย่าง

n แทน จำนวนนักเรียนที่ทำแบบทดสอบ

หมายเหตุ: μ สำหรับสมมติฐานข้อที่ 2 ใช้แทนด้วยระดับ 32

ใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย แล้วปรับเป็นร้อยละ

3.3 ทดสอบสมมติฐานข้อ 3 โดยใช้ โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย Mean (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543: 137 – 139)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ โดยแบ่งการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ ระดับดีขึ้นไป 2) การทดลองใช้คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ โดยมีวัตถุประสงค์ให้นักเรียนที่ใช้คู่มือมีความรู้และเกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์ หลังใช้คู่มือฯ เป็นไปตามเกณฑ์ ร้อยละ 80 ขึ้นไป และมีความพึงพอใจหลังการใช้คู่มือในระดับดีขึ้นไป โดยนำไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การพัฒนาคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา ให้มีประสิทธิภาพ ระดับดีขึ้นไป มีการดำเนินงานเป็นขั้นตอนลำดับ ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี โดยเก็บตัวอย่างน้ำตามจุด โดยใช้การเก็บแบบจ้วง เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว เวลาเก็บตัวอย่างควรทำในช่วงเช้า (8.00 – 10.00 น.) วิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำทางเคมี อย่างง่าย (test kit) เพื่อตรวจสอบค่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

1.1.1 เก็บตัวอย่างแมลงน้ำ ทำการจำแนก ชนิดของแมลงน้ำที่พบ โดยเก็บตัวอย่างในเดือน มิถุนายน 2556 ถึง พฤศจิกายน 2556 ใช้วิธีเก็บตัวอย่างเชิงปริมาณ โดยใช้สวิงตักจับแมลง ค้นหาแมลงน้ำในแหล่งน้ำ เมื่อพบแมลงน้ำจึงนำมาจำแนกชนิด โดยยืนยันความถูกต้องกับหนังสือเรียนวิชาแมลงน้ำ เป็นเอกสารอ้างอิง และส่งภาพแมลงน้ำให้ผู้เชี่ยวชาญยืนยันความถูกต้องอีกครั้ง

1.1.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับชนิดของแมลงน้ำที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลที่ได้ศึกษาชนิดของแมลงน้ำ ตรวจสอบความถูกต้องโดยตรวจสอบกับเอกสาร และส่งข้อมูลให้ผู้เชี่ยวชาญด้านแมลงน้ำยืนยันความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำที่แมลงน้ำอาศัยอยู่

ชนิดของแมลงน้ำที่พบ	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ออกซิเจน ละลายน้ำ (mg/l)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ไนโตรเจน (mg/l)	แหล่งที่พบ
มวนน้ำ					นาข้าว/สวน/ แหล่งน้ำทั่วไป
วงศ์ : Gerridae	6.5 – 7.5	4.0 – 6.5	29 – 31	0 – 0.1	
วงศ์ : Nepidae	7.0 – 7.5	4.5 – 6.5	28 – 31	0 – 0.1	นาข้าว/สวน/ แหล่งน้ำทั่วไป
วงศ์ : Notonectidae	6.5 – 7.0	4 – 6.5	28 – 32	0 – 0.1	นาข้าว/สวน/ แหล่งน้ำทั่วไป
ตัวอ่อนชีปะขาว					นาข้าว/สวน/ แหล่งน้ำทั่วไป
วงศ์ : Heptageniidae	7.0 – 8.5	4 – 8.5	28 – 31	0 – 0.1	
วงศ์ : Leptophlebiidae	7.0 – 8.0	5.0 – 7.5	28 – 31	0 – 0.1	นาข้าว/สวน/ แหล่งน้ำทั่วไป
วงศ์ : Ephemerellidae	6.5 – 8.0	4.5 – 6.5	27 – 31	0 – 0.1	สวน/แหล่งน้ำ ทั่วไป
วงศ์ : Ephemeridae	6.5 – 8.5	5.0 – 6.0	28 – 31	0 – 0.1	สวน/แหล่งน้ำ ทั่วไป
วงศ์ : Caenidae	7.0 – 8.5	6.5 – 7.0	28 – 31	0 – 0.1	สวน/แหล่งน้ำ ทั่วไป
ด้วงน้ำ					แหล่งน้ำทั่วไป/ นาข้าว
วงศ์ : Dytiscidae	7.5 – 8.5	4 – 6	28 – 31	0 – 0.1	
ตัวอ่อนแมลงปอ					แหล่งน้ำทั่วไป/ นาข้าว
วงศ์ : Platycnemidae	6.5 – 7.5	4 – 6	28 – 31	0 – 0.1	
วงศ์ : Euphaeidae	6.5 – 8.0	4 – 6	28 – 31	0 – 0.1	แหล่งน้ำทั่วไป/ นาข้าว
วงศ์ : Libellulidae	7.0 – 8.0	4 – 6	28 – 31	0 – 0.1	แหล่งน้ำทั่วไป/ นาข้าว
หนอนริ้นน้ำจืดแดง					แหล่งน้ำทิ้งจาก ฟาร์มปศุสัตว์
วงศ์ : Chironomidae	7.5 – 9.5	1 – 3	28 – 30	0.25 – 0.5	
ลูกน้ำ					แหล่งน้ำทั่วไป/ แหล่งน้ำทิ้ง
วงศ์ : Culicidae	6.0 – 9.0	2 – 5	26 – 31	0 – 0.5	

1.2 การพัฒนาคู่มือฯ

ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการสร้างและพัฒนา คู่มือฯ ดังนี้

1.2.1 กำหนดความคิดรวบยอดและวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ให้สอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2551) มาตรฐาน ว 2.2 ตัวชี้วัดที่ 3 และ 4

1.2.2 กำหนดแนวการเขียน ขอบเขต และโครงเรื่องตามแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 เรื่องของสิ่งมีชีวิต กับสิ่งแวดล้อม

1.2.3 จัดทำคู่มือฯ

1.2.4 ตรวจสอบและแก้ไขคู่มือฯ โดยประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ตรวจสอบโครงสร้างของคู่มือฯ แบบทดสอบ และแบบประเมินฯ ให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ และแผนการจัดการเรียนรู้ หลังจากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านแมลงน้ำ 1 ท่าน ด้านคุณภาพน้ำ 1 ท่าน ด้านการศึกษา (วัดและประเมินผล) 1 ท่าน ด้านการสอนวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน และ ด้านการสร้างคู่มือ 1 ท่าน รวม 5 ท่าน ประเมินความสอดคล้องของคู่มือฯ กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ โดยกำหนดค่าความสอดคล้อง (IC) ที่ตั้งไว้มากกว่า 0.5 ขึ้นไป และปรับแก้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ผลดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงคะแนนความสอดคล้องของคู่มือกับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ค่าความสอดคล้อง
	IC
1. ให้นักเรียนได้ศึกษาถึงความสำคัญของคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นด้วยตนเอง	1
2. ให้นักเรียนเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำ	1
3. ให้นักเรียนตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นจากคู่มือฯ	1
4. ให้นักเรียนวิเคราะห์และสรุปคุณภาพน้ำเบื้องต้นด้วยตนเอง	1
5. ให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	1
6. ให้นักเรียนเกิดความรู้สึกรักและมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในท้องถิ่นของตนเอง	0.6
เฉลี่ย	0.93

จากตาราง 3 คะแนนความสอดคล้องของคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ มีค่าความสอดคล้อง(IC) 0.93 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 0.5 แสดงว่า คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ มีความสอดคล้องกัน สามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้

หลังจากนั้นนำคู่มือฯ ที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญในขั้นแรกไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ด้านแมลงน้ำ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคุณภาพน้ำ 1 ท่านผู้เชี่ยวชาญทางการศึกษา (วัดและประเมินผล) 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน และ ผู้เชี่ยวชาญทางการสร้างคู่มือ 1 ท่าน รวม 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพคู่มือฯโดยจำแนกเป็นด้านเนื้อหา ด้านการใช้ภาษา ด้านการจัดภาพประกอบ ด้านการจัดรูปเล่มและความคิดเห็นเพิ่มเติม แสดงผลดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยผลการประเมินคุณภาพคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ จากผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่าเฉลี่ย	ระดับคุณภาพ
	1	2	3	4	5		
1. เนื้อหามีความถูกต้องตามหลักวิชาการ	4	4	5	3	4	4	ดี
2. มีการกำหนดหัวข้อเรื่องสอดคล้องกับเนื้อหา	4	4	4	4	4	4	ดี
3. เนื้อหาทำให้ผู้อ่านเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	3	4	4	4	5	4	ดี
4. เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	3	5	4	4	5	4.2	ดี
5. เนื้อหามีลำดับขั้นตอนต่อเนื่อง	3	5	5	4	5	4.4	ดี
6. เนื้อหาทำให้ผู้อ่านเกิดความรู้เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น	3	5	5	4	5	4.4	ดี
7. เนื้อหา มีประโยชน์ สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	4	5	5	5	4	4.6	ดีมาก
8. เนื้อหา มีส่วนส่งเสริมการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	3	5	5	4	3	4	ดี
9. การใช้ภาษาเหมาะสมกับระดับความรู้	4	4	5	4	4	4.2	ดี
10. การใช้ภาษา มีความถูกต้อง ชัดเจน	4	4	4	3	4	3.8	ดี
11. การลำดับขั้นตอนมีความต่อเนื่องเข้าใจง่าย	3	4	5	4	5	4.2	ดี
12. ภาพประกอบตรงกับเนื้อหา	4	4	5	4	4	4.2	ดี
13. ภาพประกอบชัดเจนสี สันสวยงาม	3	4	4	3	4	3.6	ดี
14. ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย	4	4	5	3	4	4	ดี
15. รูปเล่มคู่มือฯ เหมาะสมและน่าสนใจ	3	4	5	4	4	4	ดี
16. ปกคู่มือฯ น่าสนใจและสื่อความหมายถึงเนื้อหาในคู่มือฯ	3	3	4	4	4	3.6	ดี
17. วิธีการเรียบเรียงเนื้อหา	3	4	4	3	5	3.8	ดี
เฉลี่ย						4.06	ดี

จากตาราง 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่า ผลการประเมิน จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน พบว่า ค่าเฉลี่ยจากการประเมินคุณภาพคู่มือฯ คือ 4.06 เทียบกับเกณฑ์ที่มีคุณภาพระดับดี ทั้งด้านคุณภาพเนื้อหา การใช้ภาษา ภาพประกอบและการจัดรูปเล่ม สำหรับความเห็นทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อคู่มือฯ มีคะแนนเฉลี่ย คือ 4.4 เทียบกับเกณฑ์ที่มีคุณภาพระดับ ดี มีความเหมาะสมในการใช้ประกอบการเรียนมีเนื้อหาที่ให้ความรู้ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า คู่มือฯ สามารถนำไปใช้ทดลองได้

2. การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำคู่มือฯ ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา จำนวน 40 คน ปรากฏผล ดังนี้

2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้หลังการใช้คู่มือฯ เป็นไปตามเกณฑ์ ร้อยละ 80 ขึ้นไป

ตาราง 5 คะแนนเฉลี่ยผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือฯ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จำนวน 40 คน

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	SD	เกณฑ์ที่กำหนด $\mu = 32$	df	t
หลังเรียน	40	32.2	3.68	32	39	13.45*

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากตาราง 5 พบว่า หลังจากนักเรียนได้ทำกิจกรรม โดยใช้คู่มือฯและทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดความรู้หลังการใช้คู่มือฯ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย (mean) 32.2 คะแนน แสดงว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ80

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หลังการใช้คู่มือฯ เป็นไปตามเกณฑ์ ระดับดีขึ้นไป

ตาราง 6 ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา จำนวน 40 คน

การประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	4.30	86.08	ดี

จากตาราง 6 แสดงให้เห็นว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือ พบว่า มีค่าเฉลี่ย 4.30 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับดี เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ที่ระดับดีขึ้น

2.3 ประเมินความพึงพอใจของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จำนวน 40 คน หลังการใช้คู่มือ

แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว

ตอนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คนที่มีต่อการใช้คู่มือ

ตอนที่ 3 การแสดงความคิดเห็นทั่วไปเกี่ยวกับคู่มือ

ผู้วิจัยได้คำนวณคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ที่มีต่อคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ เกณฑ์การแปลความหมายระดับคะแนนมีดังนี้

1 – 1.79	หมายความว่า ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด
1.8 – 2.59	หมายความว่า ระดับความพึงพอใจน้อย
2.60 – 3.39	หมายความว่า ระดับความพึงพอใจปานกลาง
3.40 – 4.19	หมายความว่า ระดับความพึงพอใจมาก
4.20 – 5.00	หมายความว่า ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

ผลคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ที่มีต่อคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ แสดงในตาราง 6

ตาราง 7 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์
ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คนหลังการใช้คู่มือฯ

หัวข้อประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	การแปลความหมาย
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	4.83	0.45	พึงพอใจมากที่สุด
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	4.20	0.61	พึงพอใจมากที่สุด
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	4.25	0.59	พึงพอใจมากที่สุด
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	3.80	0.65	พึงพอใจมาก
5. ภาพประกอบเหมาะสม	4.20	0.56	พึงพอใจมากที่สุด
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	4.20	0.79	พึงพอใจมากที่สุด
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการป้องกันและแก้ไข ปัญหาสิ่งแวดล้อม	4.35	0.62	พึงพอใจมากที่สุด
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	4.43	0.59	พึงพอใจมากที่สุด
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	4.45	0.64	พึงพอใจมากที่สุด
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	4.55	0.55	พึงพอใจมากที่สุด
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	4.35	0.62	พึงพอใจมากที่สุด
13. ภาษามีความถูกต้อง	4.50	0.64	พึงพอใจมากที่สุด
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	4.05	0.50	พึงพอใจมาก
รวม	60.31	8.53	-
เฉลี่ย	4.31	0.61	พึงพอใจมากที่สุด
ร้อยละ	86.18	-	-

จากตาราง 7 คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจหลังการใช้คู่มือฯ คือ 4.31 อยู่ในเกณฑ์พึงพอใจมากที่สุด สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ นักเรียนมีความพึงพอใจหลังการใช้คู่มือฯ ระดับดีขึ้นไป เป็นไปตามสมมุติฐาน ข้อที่ 3 สำหรับการกระจายของคะแนนของข้อมูลนั้นเราจะพิจารณาค่าคะแนนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.45 – 0.79 นั่นคือ มีค่าการกระจายของข้อมูลน้อย นั่นคือกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีความพึงพอใจต่อคู่มือฯ ใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มุ่งพัฒนาคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือฯ รวมทั้งศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์จันทบุรี สามารถสรุปสาระสำคัญ เป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1. การพัฒนาคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ โดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมินความสอดคล้องของคู่มือฯ กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ มีค่าความสอดคล้อง (IC) 0.93 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 0.5 และประเมินทางคุณภาพเนื้อหา การใช้ภาษา การจัดภาพประกอบ และการจัดรูปแบบ พบว่า ค่าเฉลี่ยจากการประเมินคุณภาพคู่มือฯ คือ 4.06 เทียบกับเกณฑ์ที่มีคุณภาพระดับดี เป็นไปตามสมมุติฐานข้อ 1

2. การหาประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้คู่มือฯ

- 2.1 ทำการประเมินความรู้หลังการใช้คู่มือฯ โดยทำการทดสอบวัดความรู้ นักเรียนมีคะแนนสอบหลังการใช้คู่มือฯ เฉลี่ย 32.2 คะแนนจากคะแนนเต็ม 40 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.5 ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานข้อ 2

- 2.2 ทำการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในระหว่างทำกิจกรรม และตรวจให้คะแนนจากการตรวจรายงานกิจกรรม พบว่า มีค่าเฉลี่ย 4.30 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นไปตามสมมุติฐานข้อ 2

3. การประเมินความพึงพอใจ หลังการใช้คู่มือพบว่านักเรียนมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เป็นไปตามสมมุติฐานข้อ 3

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การหาคุณภาพของคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์จันทบุรี

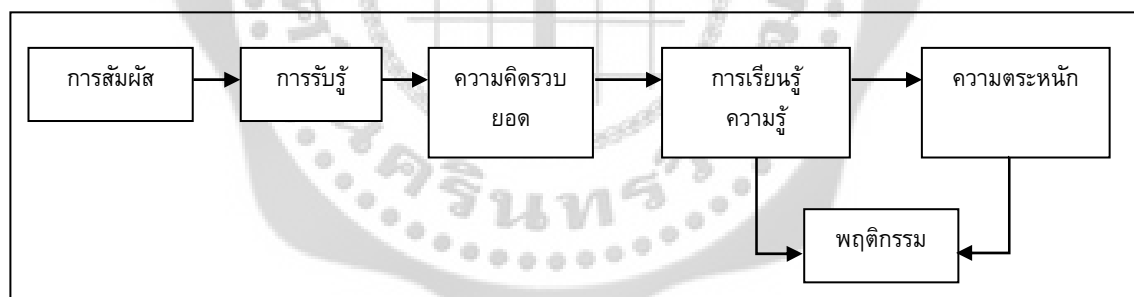
- 1.1 การประเมินความสอดคล้องของคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ มีค่าความสอดคล้อง (IC) การประเมินคุณภาพในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 0.93 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจากผู้วิจัยได้ปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 5 ท่าน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ทุกหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วย โดยให้คะแนนเต็ม ยกเว้นในข้อที่ 6 หัวข้อ การให้นักเรียนรู้สึกภาคภูมิใจ และมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวัง รักษาคุณภาพน้ำในท้องถิ่นของตนเอง มีคะแนนเฉลี่ย 0.6 แสดงให้เห็นว่าการสร้างความรู้สึกรักหรือความตระหนักในการมีส่วนร่วมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการเรียนการสอนเพียงอย่างเดียวไม่ได้ ผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้ใช้กิจกรรมที่เหมาะสมหรือสิ่งที่อยู่ใกล้ตัว ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความตระหนักสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ ฉันทนา ปาปัดถา และ วิมลพรรณ อาภาณน (2554: 242 – 244) ได้ศึกษาความตระหนัก ความรู้ ทักษะและพฤติกรรมต่อปัญหาโลกร้อนของประชากรในกรุงเทพมหานคร พบว่า ผู้ที่ได้รับข้อมูลข่าวสาร จะมีความตระหนัก ความรู้ทักษะและพฤติกรรมต่อปัญหาโลกร้อนในระดับมาก แสดงให้เห็นว่า การรับ ข้อมูลข่าวสารก็มีส่วนสำคัญ ดังนั้น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความตระหนัก จะต้อง เน้นความสำนึก การรับรู้ หรือความรู้สึกเมื่อได้รับการกระตุ้น โดยการเรียน ผูกอบรม หรือทำกิจกรรม เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ทั้งโดยการสอนเนื้อหาสาระ หรือการทำกิจกรรม ให้สามารถสัมผัส ประสบการณ์โดยตรง ซึ่งจะก่อให้เกิดความสำนึก และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมได้โดยอัตโนมัติ

ปัจจัยหรือสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้ หรือความตระหนัก สามารถแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบใหญ่ คือ ลักษณะของสิ่งเร้า และลักษณะของบุคคลที่รับรู้

1. ลักษณะของสิ่งเร้าหรือคุณสมบัติของสิ่งเร้า จะเป็นปัจจัยภายนอกที่ทำให้บุคคลเกิดความสนใจที่จะรับรู้ อันจะนำไปสู่ความตระหนักต่อไป

2. ลักษณะของบุคคลที่รับรู้ หมายถึง การที่บุคคลจะเกิดความตระหนักต่อปรากฏการณ์ อย่างใดอย่างหนึ่ง มากน้อยแค่ไหนย่อมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านกายภาพ ได้แก่ สมรรถภาพของอวัยวะ รับสัมผัส หู ตา จมูก ปาก และปัจจัยทางด้านจิตวิทยา อันได้แก่ ความรู้เดิม การสังเกต พิจารณา ความสนใจ ความตั้งใจ ความพร้อมที่จะรับรู้ การเพิ่มคุณค่า ฯลฯ ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะมีอิทธิพลทำให้บุคคลเกิดความตระหนักแตกต่างกัน ซึ่งขั้นตอนและกระบวนการเกิดความตระหนัก ดัง ภาพประกอบ 3

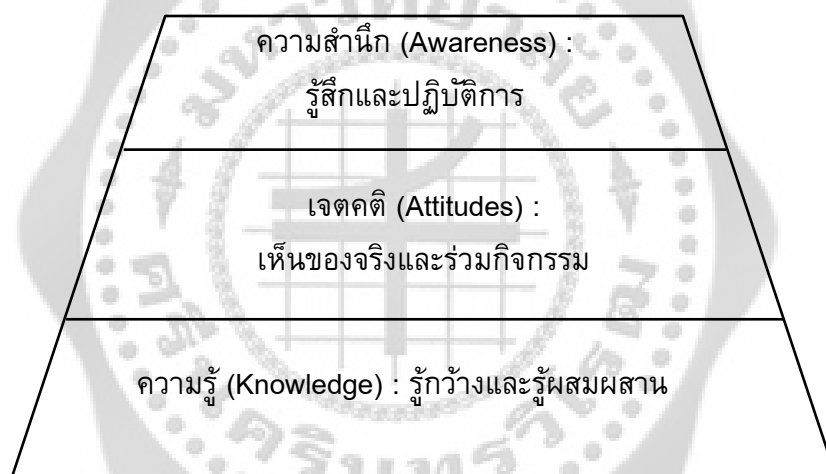


ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนและกระบวนการเกิดความตระหนัก

ที่มา: กู๊ด คาร์มดอร์ วี. (อนุสรณ์ กาลดิษฐ์. 2548: 8; อ้างอิงจาก Carter, V. Good. 1973: 54)

จากภาพประกอบ 3 จะเห็นได้ว่าความตระหนักเป็นผลมาจากกระบวนการทางปัญญา (Cognitive Process) กล่าวคือ เมื่อบุคคลได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าหรือรับสัมผัสจากสิ่งเร้าแล้ว จะเกิดการรับรู้ขึ้น เมื่อเกิดการรับรู้แล้วต่อไปก็จะนำไปสู่การเกิดความเข้าใจในสิ่งเร้านั้น คือ เกิดความคิดรวบยอดเกี่ยวกับ สิ่งเร้านั้น และนำไปสู่การเรียนรู้ในขั้นต่อไป คือ มีความรู้ในสิ่งนั้น และเมื่อเกิดความรู้แล้ว ก็จะมีผลไปสู่

ความตระหนักในที่สุด และทั้งความรู้ และความตระหนักต่างก็นำไปสู่การกระทำหรือการแสดงพฤติกรรมของบุคคลที่มีต่อสิ่งเร้านั้นๆ และในการสะสมความรู้จนเกิดความตระหนัก แต่จากงานวิจัยของณัฏฐิกา (2556) ในการประเมินความสำเร็จทางสิ่งแวดล้อมศึกษาจากงานวิจัยในรอบ 1 ทศวรรษของหลักสูตรมัธยมศึกษาการสอนสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการวัดความรู้และเจตคติทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าการสร้างความรู้ความตระหนักทางสิ่งแวดล้อม จึงไม่สอดคล้องและเป็นไปตามกระบวนการทางสิ่งแวดล้อมศึกษา ซึ่งได้เสนอแนวทางการจัดการชั้นเรียนที่เหมาะสมควรให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ การใช้แหล่งเรียนรู้ทางธรรมชาติในชุมชน โดยยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่ง เกษม จันทรแก้ว (2536: 143 – 144) กล่าวว่า การสร้างความรู้ความตระหนักทางสิ่งแวดล้อม (Environmental awareness) เป็นการทำให้เกิดความสำนึกทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องมีความรู้ และเจตคติแล้วเมื่อต้องการให้มีความสำนึก ต้องให้ความรู้ลึกในเรื่องเฉพาะสิ่งแวดล้อมนั้นๆ พร้อมทั้งปฏิบัติการเพื่อให้เกิดจากการเรียนรู้ จึงจะสามารถสร้างความสำนึกได้เป็นอย่างดี ดัง ภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนตามลำดับของการสะสมความรู้ และเจตคติเพื่อให้เกิดเป็นความสำนึก หรือ ความตระหนักทางสิ่งแวดล้อม (awareness)

ที่มา: เกษม จันทรแก้ว. 2536: 143.

จากการศึกษาองค์ประกอบและลำดับขั้นตอนในการเกิดความรู้ความตระหนักและการสร้างจิตสำนึกทางสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่า ในการสอนให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความตระหนักในสิ่งใดนั้น ต้องสร้างสิ่งเร้าที่ผู้เรียนสนใจ เช่น การทำสื่อการสอนที่น่าสนใจ เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน การแสดงให้เห็นถึงสถานการณ์จริงเพื่อให้เกิดประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ หรืออาจแสดงให้เห็นถึงสถานการณ์จำลองเพื่ออำนวยความสะดวกทำความเข้าใจ เป็นต้น โดยเน้นให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วม จนทำให้เกิดความรู้ความตระหนักต่อสิ่งนั้น

1.2 การประเมินทางคุณภาพ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้ภาษา ด้านการจัดภาพประกอบ ด้านการจัดรูปเล่มและความคิดเห็นเพิ่มเติมด้านอื่นๆ พบว่า ค่าเฉลี่ยจากการประเมินคุณภาพคู่มือฯ เท่ากับ 4.06 เทียบกับเกณฑ์มีคุณภาพระดับ ดี ทั้งด้านคุณภาพเนื้อหา การใช้ภาษา การจัดรูปเล่ม เมื่อวิเคราะห์รายข้อ พบว่า ส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป เนื่องจากผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ภาพประกอบส่วนใหญ่ เป็นภาพจากการสำรวจยกเว้นข้อ 10 เรื่องการใช้ภาษา ข้อ 13 ภาพประกอบ และข้อ 16 ความน่าสนใจของปกคู่มือ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 3.8, 3.6 และ 3.8 ตามลำดับ เนื่องจาก

ประการแรก ในข้อ 10 เรื่องของการใช้ภาษา ผู้วิจัยพยายามใช้ภาษาที่นักเรียนเข้าใจง่าย ในบางครั้ง จึงขาดความเป็นวิชาการไปบ้าง สอดคล้องกับ เซอร์ และคณะ (สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก เซอร์ และคณะ) ได้กล่าวถึงหลักการเขียนในสื่อสิ่งพิมพ์ ซึ่งเป็นสื่อที่มีเป้าหมายไปสู่สาธารณชนไว้ว่าหลักการเขียนต้องให้อ่านง่าย เข้าใจง่าย ภาษาที่ใช้มีชีวิตชีวาและกระชับชัดเจน ในการเขียนเรื่องราวต่างๆ ให้เกิดความสนใจและติดตามประโยคน่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง หรือในบางครั้งการใช้ภาษาพื้นเมืองที่ง่ายและการนำคำอุปมาต่างๆ มาใช้ ก็พบว่า เป็นสิ่งที่ทำหาย แต่สิ่งหนึ่งที่ขาดเสียไม่ได้ก็คือ การคำนึงถึงความรู้สึกและภาพสะท้อนที่กลับมาของผู้อ่าน และการเขียน เพื่อการสื่อความหมายธรรมชาติ สิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงโดยเด็ดขาด คือ การเขียนที่มีความอคติและลำเอียง เพื่อก่อให้เกิดความบาดหมาง โดยใช้เรื่องเชื้อชาติ เผ่าพันธุ์ เพศ อายุ ตลอดจนการใช้ สรรพนามที่ไม่เหมาะสมและการเขียนที่ซ้ำซากจำเจ

ประการที่สอง ในข้อ 13 และข้อ 16 ภาพประกอบและการจัดรูปเล่ม ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดรูปเล่มด้วยตนเอง และต้องการใช้ภาพจริงที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งการถ่ายภาพแมลงน้ำตัวอย่างเป็นเรื่องยากเพราะแมลงมีขนาดเล็ก และมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน และสวยงามเท่าที่ควร ซึ่ง อนันต์ธนา อังกนันท์ (2538: 8) ได้ให้หลักการเขียนคู่มือที่ดีไว้ว่า นอกจากการใช้ข้อความและภาษาง่าย คนทั่วไปเข้าใจได้เป็นอย่างดีแล้ว การใช้ศิลปะการพิมพ์ที่ดี เราใจผู้อ่านด้วยภาพประกอบตัวอักษรที่ใช้ตลอดจนการเข้าเล่มก็มีส่วนสำคัญ เช่นเดียวกันกับอนันต์ อนันตโชติ (สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตรการณ. 2543: 46; อ้างอิงจาก อนันต์ อนันตโชติ) ได้ให้หลักการเขียนคู่มือไว้ว่า ต้องมีประโยชน์ (Useful) ช่วยกระตุ้นหรือสร้างสรรค์ให้นักท่องเที่ยวเกิดจินตนาการ ข้อมูลน่าเชื่อถือ อ่านได้ง่าย และเข้าใจ ถ้อยคำที่เข้าใจง่าย มีความสวยงาม มีการออกแบบที่ดี รูปภาพต่างๆ ที่ใช้จะต้องใช้ศิลปะในการจัดทำ การเลือกสีสันท่างๆ จะต้องเป็นไปในลักษณะค่อนข้างดึงดูด จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดรูปแบบด้วยตนเอง ซึ่งผู้วิจัยเองขาดความรู้ความชำนาญในการออกแบบ จึงทำให้คู่มือที่สร้างขึ้นไม่สวยงามเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนักเรียนประเมินความพึงพอใจ พบว่า มีคะแนนเฉลี่ย 4.5, 4.2 และ 4.6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้านความรู้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา จำแนกเป็น 2 ประเด็นตามลำดับ ดังนี้

2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ จากผลการศึกษา พบว่า ภายหลังจากนักเรียนได้ทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยใช้คู่มือฯ เป็นเวลา 17 ชั่วโมง และให้นักเรียนทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดความรู้ พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ เฉลี่ย 32.2 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.5 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ หลังการใช้คู่มือฯ นักเรียนมีความรู้ ร้อยละ 80 ขึ้นไปซึ่งทั้งนี้เป็นผลมาจาก

ประการแรก คู่มือฯ ที่พัฒนาขึ้น ได้ผ่านการประเมินด้านคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้ง ผู้วิจัยได้นำชุดกิจกรรมไปทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ ในเรื่องการจัดรูปแบบ เนื้อหา ภาพประกอบ ทำให้คู่มือฯ ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพดี เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอน จึงส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ประการที่สอง ความรู้ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการเรียนด้วยคู่มือฯ ที่พัฒนาขึ้นโดยครูผู้สอนให้นักเรียนได้ศึกษา ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง มีกิจกรรมหลากหลาย จัดเรียงจากง่ายไปหายาก เพื่อให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างเป็นลำดับ ซึ่ง ไพศาล หวังพานิช (2523: 137) ได้ให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่า หมายถึง คุณลักษณะและความสามารถของบุคคลอันเกิดจากการเรียนการสอนเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากการฝึกอบรมหรือจากการสอนจึงเป็นการตรวจสอบความสามารถหรือความสัมฤทธิ์ผลของบุคคลว่าเรียนรู้แล้วเท่าไร มีความสามารถชนิดใด และ พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530: 29) ได้ให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่า หมายถึง คุณลักษณะรวมถึงความรู้ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอนหรือมวลประสบการณ์ทั้งปวงที่บุคคลได้รับ จากการเรียนการสอนทำให้บุคคลเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในด้านต่างๆ ของสมรรถภาพสมอง

แสดงให้เห็นว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้านความรู้ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากนักเรียนผ่านกระบวนการที่เกิดมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ซึ่งแสดงออกมาในรูปของความสำเร็จและสามารถวัดได้โดยใช้แบบทดสอบ จึงทำให้นักเรียนที่เรียนด้วยคู่มือฯ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการศึกษา พบว่า ในระหว่างทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำ และตรวจรายงานกิจกรรม ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตและบันทึกพฤติกรรม ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียนเป็นรายบุคคลโดยใช้แบบประเมินทักษะจากการใช้คู่มือฯ พบว่า นักเรียนมีทักษะ เฉลี่ยร้อยละ 86.08 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือสูงกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป โดยชูชาติ แพน้อย (2533: 35) ได้กล่าวถึง ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ว่า เมื่อนักเรียนได้เรียน โดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังการเรียน โดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะเปรมวดี รักขวลี (2539: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และค่านิยมทางเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอน โดยใช้ชุด

ทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอน โดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือครูแตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่า ในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ควรให้นักเรียนมีกิจกรรม มีส่วนร่วมในการทดลอง การปฏิบัติจริง จะทำให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จะพัฒนาขึ้นอยู่กับการฝึกฝนและปฏิบัติ โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์จนเกิดความชำนาญ

3. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือฯ จากผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อคู่มือฯ ในระดับมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจาก

คู่มือฯ ที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบแก้ไข และประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทำให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด มีการสอดแทรกกิจกรรมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และมีการศึกษาสำรวจสภาพแวดล้อมจริงในโรงเรียน ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และสนุกกับกิจกรรมที่ได้ปฏิบัติ โดยไม่ได้เรียนรู้เฉพาะในห้องเรียน สอดคล้องกับแนวคิด Learning by Doing ที่จัดการเรียนรู้โดยการลงมือทำเป็นแนวคิดหรือความเชื่อที่สนับสนุนให้คนเราปฏิบัติสิ่งต่างๆ ด้วยตนเองตามความสนใจ ตามความถนัด และศักยภาพ ด้วยการศึกษา ค้นคว้า ฝึกปฏิบัติ ฝึกทักษะจนถึงการเรียนรู้ด้วยตนเอง เพราะเชื่อว่า หากคนเราได้กระทำ จะทำให้เกิดความเชื่อมั่นเป็นแรงจูงใจให้เกิดการเรียนรู้ ใฝ่เรียน ผู้เรียนก็จะเกิดความสุขสนุกสนาน มีความสุขที่จะเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศจีพร สมบูรณ์ทรัพย์ (2542: 85) ที่ศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาหนังสืออ่านเพิ่มเติมชุดป่าห้องเรียนชีวิตของนักศึกษา ปรากฏว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีความพึงพอใจระดับดีมาก รวมทั้ง แสงสุณี สุกุลชนกฤช (2542: 75) ศึกษาวิจัยเรื่องการสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติม เรื่องป่าไม้ของกาญจนบุรี ผลการวิจัย พบว่า หนังสืออ่านเพิ่มเติม เรื่องป่าไม้ของกาญจนบุรีที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้อ่านประกอบการเรียนได้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพทำให้นักเรียนมีความรู้เพิ่มเติมแล้ว นักเรียนยังมีความพอใจต่อหนังสือเป็นอย่างมากและศิริพร สร้อยนาคนพงษ์ (2543: 109) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาและทดลอง การพัฒนาและทดลองใช้คู่มือการท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา ผลการวิจัยสรุปว่า คู่มือฯ ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประกอบการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง มีระดับความพึงพอใจมาก มีคะแนนสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้คู่มือสูงกว่าก่อนใช้คู่มือ

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความพึงพอใจเป็นสิ่งสำคัญ แสดงให้เห็นว่าคู่มือสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การนำคู่มือฯ ไปใช้ ผู้สอนควรศึกษาคู่มือให้เข้าใจก่อน

1.2 ครูผู้สอนสามารถหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมหรือปรับเปลี่ยนแหล่งการเรียนรู้ เพื่อให้เกิดความหลากหลายของข้อมูลในการเรียนรู้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

1.3 ในการจัดกิจกรรมครูควรเตรียมอุปกรณ์ให้พร้อม และก่อนทำกิจกรรมอธิบายให้นักเรียนมีความเข้าใจการทำกิจกรรมก่อนเริ่มทำ จะสามารถช่วยให้นักเรียนทำกิจกรรมได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนและรวดเร็ว

1.4 ในขณะที่ทำกิจกรรม ครูผู้สอนควรดูแล และให้คำแนะนำ โดยการสังเกตนักเรียน ในแต่ละกลุ่ม เพื่อความเข้าใจ และการปฏิบัติกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

1.5 เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมครูผู้สอนอาจยืดหยุ่นได้ตามความเหมาะสม ตามความสามารถของนักเรียน แต่ไม่ควรมากเกินไปจนอาจทำให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่ายได้

1.6 ควรให้นักเรียนและชุมชนมีส่วนร่วมในการออกแบบคู่มือและกิจกรรม

1.7 ครูจะต้องมีการสำรวจพื้นที่ก่อน

1.8 การเก็บข้อมูล ต้องเก็บให้ได้มากพอ เลือกเวลาและสถานที่เก็บให้เหมาะสม

2. ข้อเสนอแนะในการในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 คู่มือฯ สามารถนำไปพัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพแต่ละท้องถิ่นหรือฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป

2.2 ควรพัฒนาคู่มือฯให้ตรงกับเนื้อหาสาระของระดับชั้นต่างๆ ไม่ยากหรือง่ายจนเกินไป ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ ได้ทดลอง ได้แสดงความคิดเห็น ได้มีการทำงานร่วมกัน

2.3 ควรมีการจัดกิจกรรมร่วมกับท้องถิ่น เพื่อเผยแพร่ความรู้ และสร้างความรู้สึกรัก และหวงแหนทรัพยากรในท้องถิ่นร่วมกัน

2.4 ในขั้นตอนการพัฒนาคู่มือฯ นอกจากจะนำคู่มือฯให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินแล้วควรมีการปรับแก้ให้ผ่านตามเกณฑ์ในทุกหัวข้อก่อนดำเนินการทดลอง รวมทั้งควรนำคู่มือฯไปทดลองใช้กับกลุ่มทดลอง (tryout) เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของคู่มือฯอีกครั้งก่อนนำไปใช้จริง

2.5 การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางด้านความรู้หลังการใช้คู่มือฯ นอกจากการตั้งเกณฑ์แล้วควรมีการทดสอบก่อนและหลังใช้คู่มือฯ เพื่อศึกษาพัฒนาการที่เกิดขึ้นกับนักเรียนเป็นรายบุคคล

2.6 การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางด้านความรู้ ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบบปรนัย 4 ตัวเลือก หากทำวิจัยครั้งต่อไป ควรแยกข้อให้ชัดเจนว่า ข้อใดวัดความรู้ - ความจำ ข้อใดวัดความเข้าใจ หรือข้อใดวัดการนำไปใช้ การตั้งเกณฑ์ดังกล่าว จะช่วยให้ครูทราบพัฒนาการและปัญหาที่เกิดขึ้นกับเด็กนักเรียนได้เป็นรายบุคคล



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2541). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2540. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2550). ถอดรหัสสิ่งแวดล้อมศึกษาในโรงเรียนจากงานวิจัย. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กระจ่างจิต แก้วชล. (2549). การพัฒนาชุดฝึกอบรม เรื่อง การอนุรักษ์น้ำ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ
- กิตติภูมิ มีประดิษฐ์. (2552). บทความอ่านประกอบเรื่องที่ 1 ความตระหนักในคุณค่าของการจัดการในโลกยุคใหม่. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- กิตติศักดิ์ มีฤทธิ์. (2545). ความพึงพอใจในการใช้บัตรเครดิตอเมริกันเอ็กซ์เพรส (Amex) ของผู้บริโภค. สารนิพนธ์ บธ.ม. (การตลาด). ชลบุรี: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. ถ่ายเอกสาร.
- กิตติสุภา เจริญพร. (2544). การสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติมเรื่องแนวปะการังไทย... บ้านหลังใหญ่ของสิ่งมีชีวิตใต้ทะเล สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- เกษม จันทรแก้ว. (2536). สิ่งแวดล้อมศึกษา. กรุงเทพฯ: อักษรสยาม.
- . (2545). การวางแผนและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ขวัญดาว พุกกะวนิช. (2546). การพัฒนาหนังสือการ์ตูนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมป่าชายเลน สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- จรงค์ ฝนประพสุติ. (2519). การสำรวจหาทรัพยากรน้ำจืดในเขตอำเภอธัญบุรี ปทุมธานี. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การสอนสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- จารุศรี ศิริธรรมา. (2545). ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อการให้บริการของบริษัท WPI Electronics Co.,Ltd. สารนิพนธ์ บธ.ม. (การตลาด). ชลบุรี: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. ถ่ายเอกสาร.

- จิรพร แขวงเพชร. (2552). การพัฒนาชุดกิจกรรมการอนุรักษ์ป่าไม้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนมัธยมขนาดนาอูปถัมภ์. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ฉันทนา ปาปัดถา; และ วิมลพรรณ อาภาณน. (2554). ความตระหนัก ความรู้ทัศนคติและพฤติกรรม ต่อปัญหาโลกร้อนของประชากรในกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ชัยวัฒน์ อินเสน. (2537). การสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติมสิ่งแวดล้อมศึกษา เรื่องป่าสวยงาม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ชูชาติ แพน้อย. (2533). ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเซิมพิทยาคม โดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์. ปรินิพนธ์ ศศ.ม. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- เชาว์ ทวีผล. (2519). การสำรวจสาหร่ายในเขตอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (ชีววิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ณัฏฐิกา โตจินดา. (2551). การสร้างแผนสิ่งแวดล้อมศึกษาแบบบูรณาการกรณีศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินของชุมชน. วารสารวิจัยทางการศึกษา. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- . (2556). การประเมินความสำเร็จทางสิ่งแวดล้อมศึกษาจากงานวิจัยในรอบ 1 ทศวรรษ ของหลักสูตรมัธยมศึกษาการสอนสิ่งแวดล้อม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธรรมพงศ์ เนาวบุตร. (2549). รายงานการประเมินความต้องการน้ำอุปโภค บริโภคและอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ส่วนจัดสรรน้ำ สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน
- นภาพร วงศ์เจริญ. (2550). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพหุปัญญาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- นภาพร ศิวกุล. (2521). การเปรียบเทียบสัมฤทธิ์ผลวิชาการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ “เรื่องดิน น้ำและต้นไม้” ด้วยการเรียนจากสไลด์ประกอบเสียง ตำราประกอบภาพ และการบรรยาย ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในสถาบันฝึกหัดครู. วิทยานิพนธ์ (วท.ม. (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.

- นฤมล แสงประดับ; และคณะ. (2541). *ดัชนีชีวภาพ สำหรับการจัดจำแนกคุณภาพน้ำทางชีววิทยา ในลุ่มน้ำอง ด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน*. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นฤมล แสงประดับ; และ วิโรจน์ หนักแน่น. (2541). การศึกษาเบื้องต้นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ในลำห้วยห้วยาเครือและลำห้วยพรมแล้ง. *วารสารวิจัย มข.* 3(1): 1 – 5.
- นฤมล แสงประดับ. (2548). *เอกสารคำสอนวิชาแมลงน้ำ*. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2532). *การวัดผลและประเมินผลการศึกษา*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- . (2546). *การวิจัยสำหรับครู*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สุวีรนาสาสน์.
- บุญเสถียร บุญสูง. (2544). ความหลากหลายชนิดของแมลงชีปะขาวในลำธารห้วยห้วยาเครือ อุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว. *วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ชีววิทยา)*. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ปราณี กองจินดา. (2549). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และทักษะการคิด เลขในใจของนักเรียนที่ได้รับการสอนตามรูปแบบชิปปาโดยใช้แบบฝึกหัดที่เน้นทักษะการคิด เลขในใจกับนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้คู่มือครู. *วิทยานิพนธ์ ค.ม. (หลักสูตรและการสอน)*. พระนครศรีอยุธยา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. ถ่ายเอกสาร.
- เปรมวดี รักขวลี. (2539). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และ คำนิยมทางเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดฝึก กระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือ. *ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (มัธยมศึกษา)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2530). *การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบ ทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยมหาวิทาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- . (2540). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมและสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษา และจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- . (2543). *วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- พิชิต ฤทธิ์จัญญ. (2545). *หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา*. กรุงเทพฯ: เฮาส์ออฟเดอร์มิสท์.
- พิน คงพูล. (2529). ความพึงพอใจที่มีต่อบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของคณะกรรมการการประถมศึกษา ใน 14 จังหวัดภาคใต้. *ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.* สงขลา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา. ถ่ายเอกสาร.
- พิมพ์พันธ์ เตชะคุปต์. (2548). *การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง*. กรุงเทพฯ: เดอะมาสเตอร์กรุ๊ป แมเนจเม้นท์.
- พิศิษฐ ตันทวนิช. (2553). *สถิติเพื่องานวิจัยทางการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย.

- เพ็ญประภา เพชรบูรณ์. (2548). การศึกษาสัตว์ที่เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในมหาวิทยาลัยขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ชีววิทยา). ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ไพศาล หวังพานิช. (2523). การวัดผลการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและ จิตวิทยา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ภพ เลหาไพบูลย์. (2540). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช. (2532). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสื่อสิ่งพิมพ์. ใน เอกสารประกอบการสอน ชุติวานิเทศศาสตร์. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช.
- มันสิน ตันทกุลเวศม์. (2538). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มีนา กรมมี. (2551). การประเมินคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยใช้สัตว์ ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ยุพเรศ วังยาฉิม. (2540). การพัฒนาคู่มือศึกษาธรรมชาติประจำเส้นทางเดินป่าในอุทยานแห่งชาติ เขาใหญ่. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2538). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- ล้วน สายยศ; และ อังคณา สายยศ. (2538). เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- วรรณทิพา รอดแรงค่า; และ จิต นวนแก้ว. (2532). กิจกรรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียน. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพทางวิชาการ.
- วินัย วีระพัฒน์นันท์. (2532). ผลงานกับสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- วิลาวรรณ คุณเจริญ. (2544). ความพึงพอใจของมหาบัณฑิตต่อโครงการปริญญาโท สาขาสังคมสงเคราะห์ ในกระบวนการยุติธรรม (ส่วนภูมิภาค). วิทยานิพนธ์ สส.ม. (การบริหารและนโยบายสวัสดิการสังคม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ศจีพร สมบูรณ์ทรัพย์. (2542). การใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติมชุด ป่า ห้องเรียนชีวิตสำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยานิพนธ์ (ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ศิริพร สร้อยนาคพงษ์. (2543). การพัฒนาและทดลองใช้คู่มือท่องเที่ยวโบราณสถาน ในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วิทยานิพนธ์ (ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.

- ศุภพงศ์ คล้ายคลึง. (2548). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะการทดลอง โดยใช้ชุดปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สมพร เชื้อพันธ์. (2547). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่3 โดยใช้วิธีการจัดการเรียนการสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองกับการจัดการเรียนการสอนตามปกติ. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (หลักสูตรและการสอน). พระนครศรีอยุธยา: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. ถ่ายเอกสาร.
- สร้อยทิพย์ สมัคร์เขตการณ์. (2543). การพัฒนาคู่มือศึกษาธรรมชาติเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศประจำเส้นทางศึกษาธรรมชาติ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- สาวิตรี ศรีสุข. (2537). การหนังสือเพื่อการสื่อสารพัฒนาการ: คู่มือการศึกษาธรรมชาติในป่าดิบเขา. วิทยานิพนธ์ วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต (สื่อสารมวลชน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน. (2543). ความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อการปฏิบัติงานของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน. กรุงเทพฯ: กองนโยบายและแผน สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน กระทรวงศึกษาธิการ.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2544). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2544. กรุงเทพฯ: วิชาการปก.
- สิริพร ทิพย์คง. (2545). หลักสูตรและการสอนคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว).
- สุทธิ ปันมา. (2534). ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการสถานีขนส่งผู้โดยสาร จังหวัดขอนแก่น. ปรินญานิพนธ์ ศศ.ม. (ไทยคดีศึกษาเน้นสังคมศาสตร์). มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม. ถ่ายเอกสาร.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. (2517). การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด. กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.
- แสงสุณี สกลธนฤกษ์. (2542). การสร้างและทดลองใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติมเรื่องป่าไม้ของกาญจนบุรีสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่6. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. (สิ่งแวดล้อมศึกษา). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- องอาจ นัยพัฒน์. (2548). วิถีวิทยาการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อนันต์ธนา อังกินันท์. (2538). การผลิตและการใช้สื่อเพื่อการประชาสัมพันธ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อนุสรณ์ กาลดิษฐ์. (2548). การศึกษาความรู้และความตระหนักของนักศึกษาที่มีต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในเขต กรุงเทพมหานคร. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

- อัจฉรา โทบุญ. (2534). ระดับความพึงพอใจของผู้มารับบริการงานทะเบียนราษฎรสำนักทะเบียนอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม. ปรินิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- อัฐพร มาขำ. (2543). ความพึงพอใจในงานของตำรวจสายตรวจจรจรถักยานยนต์ในสังกัดกองบังคับการตำรวจจรจรจังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (สังคมวิทยาประยุกต์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- อุดมลักษณ์ ไชยชนะ. (2543). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจในการเรียนกับความสอดคล้องในการเลือกคณะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (จิตวิทยาการแนะแนว). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- Amitage, P.D, Moss, D.; Wright, J.F.; & Furse, M.T. (1983). The Performance of a New Biological Water Quality Score System Based on Macroinvertebrate Over a Wide Range of Unpolluted Running-water Sites. *Water Research*. 17: 333 – 347.
- Cairns, J. (1982). Freshwater Protozoan Communities. In: *Microbial Interaction and Communities*. Bull, A.T.; & Watkinson, A.R.K. (Eds.). 1: 249 – 285. London: Academic Press.
- Cairns, J.; & Pratt. (1993). A History of Biological Monitoring Using Benthic Macroinvertebrates. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Rosenberg, D.M.; & Resh, V.H. pp. 10 – 27. New York: Chappman & Hall.
- Campbell, I.C. (1982). Biological Water Quality Monitoring and Australian Viewpoint. In: *Water Quality Management*. Monitoring Program and Diffuse Runoff. Hart, B.T. pp. 39 – 66. Melbourne: Water Studies Centre, Chisholm Institute of Thechnology and Australian Society for Limnology.
- Chandler, J.R. (1970). A Biological Approach to Water Quality Management. *Water Pollution Control*. 69: 415 – 421.
- Chessman, B.C. (1995). Rapid Assessment of River Using Macro Invertebrate : A Procedure Based on Habitat-specific, Sampling Ffamily Level Identification and a Biotic index. *Australian Journal of Ecology*. 20: 122 – 129.
- Chutter, F.M. (1972). *An Empirical Biotic Index of the Quality of Water in South African Streams and Rivers*. *Water Research*. 6: 19 – 30.
- De, Zwart D.; & Trivedi, R.C. (1994). Manual on Integrated Water Quality Evaluation. *Report Bilthoven, the Netherlands*. Netherlands: National Institute of Public Health and Environment Protection.

- Guhl, W. (1987). Aquatic Ecosystem Characterization by Biotic Indices. *International Revue der Gesamten Hydrobiologie*. 72: 431 – 455.
- Hallawell, J.M. (1989). *Biological Indicator of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science.
- Kolkwitz, R.; & Marsson, M. (n.d.). Ökologie der Tierischen Saprobien. Beiträge zur Lehre Vondes Biologischen. Gewassebeurteilung. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologies and Hydrographie*. 2: 126 – 152.
- MacArthur, R.H.; & Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: University Princeton Press.
- Metcalf, J.L. (1989). Biological Water Quality Assessment of Running Waters Based on Macroinvertebrate Communities : History and Present Status in Europe. *Environmental Pollution*. 60: 101 – 139.
- Mustow, S.E. (1997). *Aquatic Macroinvertebrates and Environmental Quality of River in Northern Thailand*. Ph.D.Thesisi. London: University of London.
- Nation Water Council. (1981). *River Quality : the 1980 Survey and Future Outlook*. London: National Water Council.
- Roback, S.S. (1974). Insects (Arthropoda : Insecta). In: *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrate*. Hart, C.W.; & Fuller, S.L.H. (Eds). pp. 313 – 376. New York: Academic Press.
- Wolman, Benjamin B. (1973). *Dictionary of Behavioral Science*. Van Nostrand: Reinheld.





ภาคผนวก ก
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

การตรวจเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและ
เสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ ดังมีรายชื่อต่อไปนี้

อาจารย์ ดร.ลาวัญญ์ วิจารณ์

อาจารย์ประจำ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยรังสิต

อาจารย์ ดร.นฤชิต คำปิ่น

อาจารย์ประจำ

คณะสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาจารย์วิมลรัตน์ มากทรัพย์

ครูผู้สอน

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

โรงเรียนอัสสัมชัญ

อาจารย์เพลินตา พรหมฤทธิ์

ครูผู้สอน

หัวหน้างานวัดและประเมินผล

โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา

จังหวัดฉะเชิงเทรา

นางสาวพัชรภรณ์ เยาวสุต

เจ้าพนักงานประมงปฏิบัติงาน

ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

อ่าวไทยตอนบน

จังหวัดสมุทรสาคร



ภาคผนวก ข

รายการประเมินความสอดคล้อง (IC) ของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินความสอดคล้อง (IC) ของผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 8 แสดงคะแนนความสอดคล้องของคู่มือกับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ					รวม	IC	แปลผล
	1	2	3	4	5			
1. ให้นักเรียนได้ศึกษาถึงความสำคัญของ คุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นด้วยตนเอง	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
2. ให้นักเรียนเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่าง แมลงน้ำกับคุณภาพน้ำ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
3. ให้นักเรียนตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ เบื้องต้นจากคู่มือฯ ด้วยตนเอง	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
4. ให้นักเรียนวิเคราะห์และสรุปคุณภาพน้ำ เบื้องต้นด้วยตนเอง	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
5. ให้นักเรียนมีทางทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
6. ให้นักเรียนเกิดความรู้สึกรักและมีส่วนร่วม ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในท้องถิ่นของตนเอง	1	1	1	0	0	3	0.6	ใช้ได้

ภาคผนวก ค

- ผลการประเมินคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้จากผู้เชี่ยวชาญ
- ผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน
- ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือฯ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน
- ผลการวิเคราะห์คะแนนความพึงพอใจของนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คนหลังการใช้คู่มือฯ

ตาราง 9 ผลการประเมินคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้จาก
ผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ					ค่าเฉลี่ย	ระดับคุณภาพ
	1	2	3	4	5		
1. เนื้อหามีความถูกต้องตามหลักวิชาการ	4	4	5	3	4	4	ดี
2. มีการกำหนดหัวข้อเรื่องสอดคล้องกับ เนื้อหาของเรื่องนั้นๆ	4	4	4	4	4	4	ดี
3. เนื้อหาทำให้ผู้อ่านเกิดทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์เรื่องการตรวจสอบคุณภาพ เบื้องต้นทางชีวภาพ	3	4	4	4	5	4	ดี
4. เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	3	5	4	4	5	4.2	ดี
5. เนื้อหาทำให้ผู้อ่านเกิดความรู้เรื่องการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น	3	5	5	4	5	4.4	ดี
6. เนื้อหามีลำดับขั้นตอนต่อเนื่อง	3	5	5	4	5	4.4	ดี
7. เนื้อหามีประโยชน์ สามารถนำความรู้ที่ ได้มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	4	5	5	5	4	4.6	ดีมาก
8. เนื้อหามีส่วนส่งเสริมการป้องกันและแก้ไข ปัญหาสิ่งแวดล้อม	3	5	5	4	3	4	ดี
9. การใช้ภาษาเหมาะสมกับระดับความรู้	4	4	5	4	4	4.2	ดี
10. การใช้ภาษามีความถูกต้อง ชัดเจน	4	4	4	3	4	3.8	ดี
11. การลำดับขั้นตอนมีความต่อเนื่องเข้าใจง่าย	3	4	5	4	5	4.2	ดี
12. ภาพประกอบตรงกับเนื้อหา	4	4	5	4	4	4.2	ดี
13. ภาพประกอบชัดเจนสีสันทนสวยงาม	3	4	4	3	4	3.6	ดี
14. ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายให้ เข้าใจได้ง่าย	4	4	5	3	4	4	ดี
15. รูปเล่มคู่มือฯ เหมาะสมและน่าสนใจ	3	4	5	4	4	4	ดี
16. ปกคู่มือฯ น่าสนใจและสื่อความหมายถึง เนื้อหาในคู่มือฯ	3	3	4	4	4	3.6	ดี
17. วิธีการเรียบเรียงเนื้อหา	3	4	4	3	5	3.8	ดี
เฉลี่ย						4.06	ดี

ตาราง 10 ผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัว
บ่งชี้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน

เลขที่	ผลคะแนนผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือฯ	
	คะแนน (40)	ร้อยละ
1	26	65
2	28	70
3	25	62.5
4	30	75
5	32	80
6	31	77.5
7	30	75
8	33	82.5
9	31	77.5
10	30	75
11	32	80
12	31	77.5
13	31	77.5
14	26	65
15	24	60
16	32	80
17	30	75
18	26	65
19	34	85
20	31	77.5
21	33	82.5
22	36	90
23	38	95
24	34	85
25	36	90
26	35	87.5
27	37	92.5
28	38	95

ตาราง 10 (ต่อ)

เลขที่	ผลคะแนนผลการสอบวัดความรู้หลังใช้คู่มือฯ	
	คะแนน (40)	ร้อยละ
29	38	95
30	36	90
31	36	90
32	37	92.5
33	33	82.5
34	32	80
35	32	80
36	33	82.5
37	34	85
38	29	72.5
39	32	80
40	36	90
รวม	1288	3220
เฉลี่ย	32.2	80.5
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	3.68	

ตาราง 11 ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังการใช้คู่มือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา
ปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คน

เลขที่	ผลคะแนนวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังใช้คู่มือฯ						รวม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
	การสังเกต	การจำแนก	จัดกระทำและสื่อความหมาย	การลงความเห็น	การพยากรณ์	การตีความหมายและสรุป				
1	4	4	3	3	3	4	21	3.50	70.00	ดี
2	3	4	4	4	4	4	23	3.83	76.67	ดี
3	4	4	4	4	4	4	24	4.00	80.00	ดี
4	4	4	5	4	4	4	25	4.17	83.33	ดี
5	3	4	5	4	5	4	25	4.17	83.33	ดี
6	3	4	4	4	5	4	24	4.00	80.00	ดี
7	4	4	5	4	4	4	25	4.17	83.33	ดี
8	4	4	5	4	5	5	27	4.50	90.00	ดีมาก
9	4	4	4	4	5	5	26	4.33	86.67	ดี
10	4	3	5	4	5	4	25	4.17	83.33	ดี
11	3	4	4	4	4	4	23	3.83	76.67	ดี
12	4	4	3	3	4	4	22	3.67	73.33	ดี
13	3	4	4	3	4	3	21	3.50	70.00	ดี
14	3	3	5	4	3	4	22	3.67	73.33	ดี
15	3	3	4	4	4	5	23	3.83	76.67	ดี
16	4	4	3	3	5	4	23	3.83	76.67	ดี
17	4	4	4	4	5	4	25	4.17	83.33	ดี
18	4	3	4	5	3	4	23	3.83	76.67	ดี
19	3	4	5	4	5	4	25	4.17	83.33	ดี
20	4	4	5	5	4	4	26	4.33	86.67	ดี
21	4	4	5	4	4	5	26	4.33	86.67	ดี
22	4	5	5	4	4	4	26	4.33	86.67	ดี
23	4	5	4	5	5	4	27	4.50	90.00	ดีมาก
24	4	4	5	5	5	4	27	4.50	90.00	ดีมาก

ตาราง 11 (ต่อ)

ผลคะแนนวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังใช้										
เลขที่	คู่มือฯ						รวม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	ระดับคุณภาพ
	การสังเกต	การจำแนก	จัดกระทำและสื่อความหมาย	การลงความเห็น	การพยากรณ์	การตีความหมายและสรุป				
25	4	5	5	5	5	5	29	4.83	96.67	ดีมาก
26	5	4	5	5	5	4	28	4.67	93.33	ดีมาก
27	5	5	5	5	5	4	29	4.83	96.67	ดีมาก
28	5	5	4	4	4	5	27	4.50	90.00	ดีมาก
29	5	5	5	5	5	4	29	4.83	96.67	ดีมาก
30	5	4	5	5	5	5	29	4.83	96.67	ดีมาก
31	4	5	5	5	5	4	28	4.67	93.33	ดีมาก
32	5	5	4	5	4	4	27	4.50	90.00	ดีมาก
33	5	5	5	5	5	4	29	4.83	96.67	ดีมาก
34	5	5	5	5	5	4	29	4.83	96.67	ดีมาก
35	4	4	5	5	5	4	27	4.50	90.00	ดีมาก
36	5	5	5	5	4	4	28	4.67	93.33	ดีมาก
37	4	5	5	5	5	4	28	4.67	93.33	ดีมาก
38	4	5	4	4	4	4	25	4.17	83.33	ดี
39	4	5	5	5	5	4	28	4.67	93.33	ดีมาก
40	5	5	5	5	5	4	29	4.83	96.67	ดีมาก
รวม	162	171	181	174	179	166	1033.00	172.17	3443.33	
เฉลี่ย	4.05	4.28	4.53	4.35	4.48	4.15	25.83	4.30	86.08	ดี
ร้อยละ	81.00	85.50	90.50	87.00	89.50	83.00	86.08	86.08	86.08	

ตาราง 12 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์
ฉะเชิงเทราจำนวน 40 คนหลังการใช้คู่มือฯ

หัวข้อ	เลขที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	4	4	3	5	4	5	4	4	5	5
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	3	4	4	5	4	4	3	4	4	5
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	4	5	4	4	4	5	3	4	5	3
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	4	4	4	5	3	5	4	3	3	3
5. ภาพประกอบเหมาะสม	4	4	5	5	3	5	3	3	4	4
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	3	3	4	5	4	4	4	3	5	3
7. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำและช่วย พัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์	3	5	3	4	3	4	5	4	3	5
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	4	4	3	5	4	5	5	4	5	3
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	4	3	4	5	5	4	4	3	4	4
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	5	5	3	5	5	5	4	3	3	5
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	4	4	4	4	5	5	5	4	4	3
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	4	5	4	5	4	4	5	3	5	5
13. ภาษามีความถูกต้อง	5	3	4	5	5	4	3	4	3	4
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	3	4	4	5	4	4	4	4	4	3
รวม	54	57	53	67	57	63	56	50	57	55
เฉลี่ย	3.86	4.07	3.79	4.79	4.07	4.50	4.00	3.57	4.07	3.93
ร้อยละ	77.14	81.43	75.71	95.71	81.43	90.00	80.00	71.43	81.43	78.57

ตาราง 12 (ต่อ)

หัวข้อ	เลขที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	4	5	4	4	4	3	4	4	4	5
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3
5. ภาพประกอบเหมาะสม	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	4	3	4	4	5	5	4	3	5	5
7. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์	4	4	4	5	4	3	3	3	5	5
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	4	5	4	4	4	5	4	4	4	3
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	5	4	4	3	4	4	4	5	3	4
13. ภาษามีความถูกต้อง	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	3	4	4	4	4	3	4	5	4	4
รวม	58	61	60	59	59	57	58	58	59	60
เฉลี่ย	4.14	4.36	4.29	4.21	4.21	4.07	4.14	4.14	4.21	4.29
ร้อยละ	82.86	87.14	85.71	84.29	84.29	81.43	82.86	82.86	84.29	85.71

ตาราง 12 (ต่อ)

หัวข้อ	เลขที่									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	4	3	4	4	4	4	5	5	5	4
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	4	4	3	3	3	3	4	4	4	5
5. ภาพประกอบเหมาะสม	4	5	5	4	5	4	5	4	4	4
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	5	3	5	5	5	4	4	5	5	5
7. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำและช่วย พัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	4	4	5	5	4	5	5	5	4	4
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	4	4	5	5	5	5	4	5	5	4
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4
13. ภาษามีความถูกต้อง	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4
รวม	61	60	63	61	60	63	65	67	66	63
เฉลี่ย	4.36	4.29	4.50	4.36	4.29	4.50	4.64	4.79	4.71	4.50
ร้อยละ	87.14	85.71	90.00	87.14	85.71	90.00	92.86	95.71	94.29	90.00

ตาราง 12 (ต่อ)

หัวข้อ	เลขที่									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
5. ภาพประกอบเหมาะสม	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	5	4	4	5	5	5	4	3	4	3
7. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำและช่วย พัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	5	5	4	5	5	5	4	4	5	4
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	5	4	4	4	5	4	5	4	5	5
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5
13. ภาษามีความถูกต้อง	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4
รวม	64	62	63	64	64	64	64	59	61	61
เฉลี่ย	4.57	4.43	4.50	4.57	4.57	4.57	4.57	4.21	4.36	4.36
ร้อยละ	91.43	88.57	90.00	91.43	91.43	91.43	91.43	84.29	87.14	87.14

ตาราง 12 (ต่อ)

หัวข้อ	รวม	เฉลี่ย	ร้อยละ	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน(S.D.)
1. รูปเล่มสวยงาม น่าสนใจ	193	4.83	96.5	0.45
2. คู่มือฯ มีขนาดที่พกพาสะดวก	168	4.2	84	0.61
3. การเปิดอ่านคู่มือฯทำได้สะดวก	170	4.25	85	0.59
4. ภาพประกอบสวยงาม น่าสนใจ	152	3.8	76	0.65
5. ภาพประกอบเหมาะสม	168	4.2	84	0.56
6. ภาพประกอบชัดเจน เข้าใจง่าย	168	4.2	84	0.79
7. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการตรวจสอบคุณภาพ น้ำและช่วยพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์	167	4.18	83.5	0.71
8. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการป้องกันและ แก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	174	4.35	87	0.62
9. เนื้อหาเข้าใจง่าย	177	4.43	88.5	0.59
10. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม	178	4.45	89	0.64
11. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์	182	4.55	91	0.55
12. ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	174	4.35	87	0.62
13. ภาษามีความถูกต้อง	180	4.5	90	0.64
14. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ	162	4.05	81	0.50
รวม	2413	60.33	1206.5	8.53
เฉลี่ย	172.36	4.31	86.18	0.61

ภาคผนวก ง

- แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความสอดคล้องของคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้กับวัตถุประสงค์ของคู่มือฯ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์จະเซียงเทรา
- แบบประเมินคุณภาพคู่มือฯ สำหรับผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
- แบบวัดความพึงพอใจในการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำ เป็นตัวบ่งชี้ (สำหรับนักเรียน)
- แบบทดสอบวัดความรู้จากการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
- คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

แบบประเมินผู้เชี่ยวชาญในการประเมิน คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำ
ทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3
โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา

วัดภูประสงค์

แบบประเมินนี้ใช้สำหรับผู้เชี่ยวชาญใช้ประเมินคู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์จະเซิงเทรา

คำชี้แจง:

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการสร้างคู่มือฯ เล่มนี้ เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาถึงความสำคัญของ
คุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นด้วยตนเอง เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดพันธุ์ของแมลงน้ำกับ
คุณภาพน้ำ สามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นจากคู่มือฯ วิเคราะห์และประเมินคุณภาพน้ำ
เบื้องต้นด้วยตนเอง

ภายในคู่มือจะประกอบด้วยวิธีการใช้คู่มือ เนื้อหาคุณภาพน้ำเบื้องต้นและดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ การใช้อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและวิธีการเก็บตัวอย่าง ชนิดของแมลงน้ำที่นิยมใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพน้ำ ซึ่งประกอบด้วยรูปภาพของแมลงน้ำแต่ละชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำเบื้องต้น พร้อมทั้งรายละเอียดเกี่ยวกับ ชื่อวงศ์ ลักษณะเด่น แหล่งที่พบ วิธีการจำแนกชนิดของแมลงน้ำ และ วิธีการประเมินผลคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

ชื่อ - นามสกุล

ตำแหน่ง

สถานที่ทำงาน

คำชี้แจง:

โปรดประเมินความสอดคล้องของคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ กับจุดประสงค์ที่ต้องการวัด โดยเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างใต้เครื่องหมายที่แสดงระดับน้ำหนักความคิดเห็นของท่านและหากมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม โปรดเขียนลงในช่องหมายเหตุโดยกำหนดให้

- +1 หมายถึง สอดคล้อง
 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
 - 1 หมายถึง ไม่สอดคล้อง

รายการประเมิน	ความสอดคล้อง		
	ผู้เชี่ยวชาญ		
	+1	0	- 1
1. ให้นักเรียนได้ศึกษาถึงความสำคัญของคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นด้วยตนเอง			
2. ให้นักเรียนเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำ			
3. ให้นักเรียนตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นจากคู่มือฯ ด้วยตนเอง			
4. ให้นักเรียนวิเคราะห์และสรุปคุณภาพน้ำเบื้องต้นด้วยตนเอง			
5. ให้นักเรียนมีทางทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์			
6. ให้นักเรียนเกิดความรู้สึกรักและมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในท้องถิ่นของตนเอง			
รวม			

ข้อเสนอแนะและข้อวิจารณ์

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ผู้ประเมิน

รายการประเมิน	ดีที่สุด	ดี	พอดี	ควรปรับปรุง	ไม่มีคุณภาพ
	5	4	3	2	1
5. เนื้อหาทำให้ผู้อ่านเกิดความรู้เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น					
6. เนื้อหามีลำดับขั้นตอนต่อเนื่อง					
7. เนื้อหามีประโยชน์ สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้					
8. เนื้อหามีส่วนส่งเสริมการป้องกันและแก้ไขปัญหาสังแวดล้อม					
คุณภาพด้านการใช้ภาษา					
1. การใช้ภาษาเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้อ่าน					
2. การใช้ภาษามีความถูกต้อง ชัดเจน					
3. การลำดับขั้นตอนมีความต่อเนื่องเข้าใจง่าย					
คุณภาพด้านการจัดภาพประกอบ					
4. ภาพประกอบตรงกับเนื้อหา					
5. ภาพประกอบชัดเจนสีสันสวยงาม					
6. ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย					
คุณภาพด้านการจัดรูปเล่ม					
1. รูปเล่มคู่มือฯ เหมาะสมและน่าสนใจ					
2. ปกคู่มือฯ น่าสนใจและสื่อความหมายถึงเนื้อหาในคู่มือฯ					
3. วิธีการเรียบเรียงเนื้อหา					

ตอนที่ 3 การแสดงความคิดเห็นทั่วไปเกี่ยวกับคู่มือฯ

1. คู่มือ มีความเหมาะสมในการใช้ประกอบการเรียนเรื่องทรัพยากรน้ำ ในวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

เหมาะสม

- ☐ ดีมาก
☐ มาก
☐ พอใช้
☐ ควรปรับปรุง
☐ ไม่มีคุณภาพ

2. คู่มือฯ มีเนื้อหาที่ให้ความรู้เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นทางชีวภาพ
 เนื้อหาที่ให้ความรู้

- ☐ ดีมาก
☐ มาก
☐ พอใช้
☐ ควรปรับปรุง
☐ ไม่มีคุณภาพ

3. เมื่ออ่านคู่มือฯ นี้แล้ว ท่านคิดว่าตนเองสามารถมีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขปัญหา
 สิ่งแวดล้อมได้ระดับใด

- ☐ ดีมาก
☐ มาก
☐ พอใช้
☐ ควรปรับปรุง
☐ ไม่มีคุณภาพ

4. ข้อเสนอแนะที่ควรปรับปรุงแก้ไข

.....

.....

.....

5. ความคิดเห็นอื่นๆเกี่ยวกับคู่มือ

.....

.....

.....

เกณฑ์การให้คะแนน

รายการ	คะแนน	ระดับคุณภาพ
1. ทักษะการสังเกต		
1. สังเกตลักษณะของแหล่งน้ำที่ศึกษาได้	1	ไม่มีคุณภาพ
2. สังเกตลักษณะสำคัญอย่างละเอียดของแหล่งน้ำที่ศึกษาได้	2	ต้องปรับปรุง
3. สังเกตลักษณะสำคัญอย่างละเอียดของแหล่งน้ำและสิ่งที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำที่ศึกษาได้	3	พอใช้
4. สังเกตลักษณะสำคัญอย่างละเอียดของแหล่งน้ำ สิ่งที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำและความแตกต่างของแหล่งน้ำแต่ละแหล่งที่ศึกษาได้	4	ดี
5. สังเกตลักษณะสำคัญอย่างละเอียดของแหล่งน้ำ สิ่งที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำและความแตกต่างของแหล่งน้ำของของแหล่งน้ำแต่ละแหล่งที่ศึกษาได้	5	ดีมาก
2. ทักษะการจำแนก		
1. ไม่สามารถอธิบายความแตกต่างของสิ่งมีชีวิตที่พบได้	1	ไม่มีคุณภาพ
2. สามารถอธิบายความแตกต่างของสิ่งมีชีวิตที่พบได้เพียงบางส่วน	2	ต้องปรับปรุง
3. สามารถอธิบายความแตกต่างและความเหมือนของสิ่งมีชีวิตที่พบได้	3	พอใช้
4. สามารถอธิบายความแตกต่างและความเหมือนของสิ่งมีชีวิตที่พบได้	4	ดี
5. สามารถอธิบายความแตกต่างและความเหมือนของสิ่งมีชีวิตที่พบได้อย่างมีหลักการ	5	ดีมาก
3. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล		
1. บันทึกสภาพทั่วไปของแหล่งน้ำไม่ละเอียดและไม่มีข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบ ไม่สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งน้ำ	1	ไม่มีคุณภาพ
2. บันทึกสภาพทั่วไปของแหล่งน้ำไม่ละเอียดและมีข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบจากการสังเกตด้วยตาเปล่าได้ ไม่สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งน้ำ	2	ต้องปรับปรุง
3. บันทึกสภาพทั่วไปของแหล่งน้ำละเอียดและมีข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบ ไม่สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งน้ำ	3	พอใช้
4. บันทึกสภาพทั่วไปของแหล่งน้ำละเอียด มีข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบ ระบุชื่อสิ่งมีชีวิตที่พบ สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งน้ำได้	4	ดี
5. บันทึกสภาพทั่วไปของแหล่งน้ำละเอียด มีข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบ ระบุชื่อสิ่งมีชีวิตที่พบ สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับแหล่งน้ำได้อย่างมีหลักการ	5	ดีมาก

รายการ	คะแนน	ระดับคุณภาพ
4. ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล		
1. ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีอยู่	1	ไม่มีคุณภาพ
2. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีอยู่ได้บางส่วน	2	ต้องปรับปรุง
3. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีอยู่ได้ถูกต้อง	3	พอใช้
4. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีอยู่ได้ถูกต้องมีหลักเกณฑ์	4	ดี
5. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่มีอยู่และเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้อย่างมีหลักเกณฑ์	5	ดีมาก
5. ทักษะการพยากรณ์		
1. ไม่สามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำจากข้อมูลที่ได้ศึกษาได้	1	ไม่มีคุณภาพ
2. สามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำจากข้อมูลที่ได้ศึกษาได้บางส่วน	2	ต้องปรับปรุง
3. สามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำได้อย่างมีหลักเกณฑ์จากข้อมูลที่ได้ศึกษา	3	พอใช้
4. สามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำได้อย่างมีหลักเกณฑ์ โดยเชื่อมโยงข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบจากการสังเกตด้วยตาเปล่าได้	4	ดี
5. สามารถพยากรณ์คุณภาพน้ำได้อย่างมีหลักเกณฑ์ โดย เชื่อมโยงข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่พบจากการสังเกตด้วยตาเปล่าได้ถูกต้อง	5	ดีมาก
6. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป		
1. ตีความหมายข้อมูลระหว่างคุณภาพน้ำกับสิ่งมีชีวิตที่พบได้ ไม่ละเอียด และไม่สรุปผลข้อมูล	1	ไม่มีคุณภาพ
2. ตีความหมายข้อมูลระหว่างคุณภาพน้ำกับสิ่งมีชีวิตที่พบได้สรุปผลไม่สอดคล้องกับข้อมูล	2	ต้องปรับปรุง
3. ตีความหมายข้อมูลระหว่างคุณภาพน้ำกับสิ่งมีชีวิตที่พบได้ แต่สรุปผลไม่สอดคล้องกับข้อมูลบางส่วน	3	พอใช้
4. ตีความหมายข้อมูลระหว่างคุณภาพน้ำกับสิ่งมีชีวิตที่พบได้ถูกต้อง และสรุปผลสอดคล้องกับข้อมูลบางส่วน	4	ดี
5. ตีความหมายข้อมูลระหว่างคุณภาพน้ำกับสิ่งมีชีวิตที่พบได้ถูกต้อง และสรุปผลสอดคล้องกับข้อมูลอย่างมีหลักการ	5	ดีมาก

รายการประเมิน	มากที่สุด 5	มาก 4	ปานกลาง 3	น้อย 2	น้อยที่สุด 1
ลักษณะเนื้อหา					
1. เนื้อหาให้ความรู้เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้นและช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
2. เนื้อหามีส่วนช่วยส่งเสริมการป้องกันและแก้ไขปัญหาสังแวดล้อม					
3. เนื้อหาเข้าใจง่าย					
4. เนื้อหามีความยาวเหมาะสม					
5. เนื้อหาตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้					
ลักษณะภาพที่ใช้					
1. ใช้ภาพเข้าใจง่าย					
2. ภาพมีความถูกต้อง					
3. ขนาดตัวอักษรพอเหมาะ มองเห็นได้ชัดเจน การจัดวางเป็นระเบียบ					

ตอนที่ 3 การแสดงความคิดเห็นทั่วไปเกี่ยวกับคู่มือฯ

1. เมื่ออ่านคู่มือฯ เล่มนี้แล้ว นักเรียนมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับเนื้อหา
เนื้อหาที่น่าสนใจ

☐ มากที่สุด
☐ มาก
☐ ปานกลาง
☐ น้อย
☐ น้อยที่สุด

2. เมื่ออ่านคู่มือฯ เล่มนี้แล้ว นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ มากน้อยเพียงใด

มีความรู้ความเข้าใจ

☐ มากที่สุด
☐ มาก
☐ ปานกลาง
☐ น้อย
☐ น้อยที่สุด

3. เมื่ออ่านคู่มือฯ นี้แล้ว นักเรียนคิดว่าจะนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันมากน้อยเพียงใด

นำไปใช้ประโยชน์

- ☐ มากที่สุด
☐ มาก
☐ ปานกลาง
☐ น้อย
☐ น้อยที่สุด

4. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับที่ควรปรับปรุงแก้ไขจากตอนที่ 2

.....

.....

.....

.....

.....

5. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับ คู่มือฯ

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบวัดความรู้
จากการใช้คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้
(สำหรับนักเรียน)

☆☆

คำสั่ง: ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวถึง "น้ำสะอาด" ได้ถูกต้อง
 - ก. ไส่ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส
 - ข. ไส่ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีแร่ธาตุหรือสารพิษ
 - ค. ไส่ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีแร่ธาตุหรือสารพิษเกินมาตรฐานความปลอดภัย
 - ง. คุณสมบัติแบบน้ำกลั่น
2. ความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เป็นผลมาจากสิ่งใด
 - ก. การเพิ่มขึ้นของประชากร
 - ข. การศึกษาของประชากรที่สูงขึ้น
 - ค. การมีลูกลดลงของครอบครัว
 - ง. การยกระดับการปกครองส่วนท้องถิ่น
3. เมื่อการใช้น้ำเพิ่มขึ้น จะเกิดสิ่งใดตามมา
 - ก. การประปาจำหน่ายน้ำได้น้อยลง
 - ข. ค่าใช้น้ำลดลง
 - ค. มีปริมาณน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้น
 - ง. มีปริมาณน้ำทิ้งลดลง
4. น้ำทิ้งจากแหล่งใดก่อให้เกิดมลพิษมากที่สุด
 - ก. การเกษตร
 - ข. ปศุสัตว์
 - ค. โรงงานอุตสาหกรรม
 - ง. ครวเรือน

5. การใช้น้ำ หลังจากใช้แล้วต้องผ่านกระบวนการใดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือท่อระบายน้ำ
- กระบวนการกรองน้ำ
 - กระบวนการบำบัดน้ำ
 - กระบวนการพักน้ำ
 - กระบวนการตกตะกอน
6. น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมมักมีสิ่งใดปะปนออกมา
- สารอินทรีย์
 - โลหะหนัก
 - ยาปราบศัตรูพืช
 - เศษอาหาร
7. ข้อใดกล่าวถึงน้ำทิ้งจากครัวเรือนผิด
- มีเศษอาหารและไขมันปะปนออกมา
 - มีสารกลุ่มฟอสเฟตปะปนอยู่
 - มีสารปรับสภาพน้ำเป็นจำนวนมาก
 - ถูกทุกข้อ
8. ไขมันหรือน้ำมันเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดผลกระทบข้อใดมากที่สุด
- เป็นอาหารของสัตว์น้ำ
 - เป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างน้ำกับอากาศ
 - เป็นสารอาหารของแบคทีเรียในน้ำ
 - ไม่ส่งผลกระทบใดๆ
9. ข้อใดกล่าวถึงแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 ได้ถูกต้องที่สุด
- น้ำสะอาด มีการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย
 - น้ำสะอาด ปราศจากการปนเปื้อนใดๆ
 - น้ำสกปรกมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค สารเคมี
 - น้ำบริเวณปากแม่น้ำ

10. น้ำที่จากอุตสาหกรรมมักมีสิ่งใดปะปนออกมา

- ก. สารอินทรีย์
- ข. โลหะหนัก
- ค. ยาปราบศัตรูพืช
- ง. เศษอาหาร

11. ข้อใดกล่าวผิด

- ก. การตรวจสอบคุณภาพน้ำมี 3 วิธีได้แก่ วิธีกายภาพ เคมีและชีวภาพ
- ข. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพต้องใช้สิ่งมีชีวิตในน้ำเป็นตัวบ่งชี้
- ค. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพเป็นการบอกลักษณะทั่วไปที่สามารถมองเห็นได้
- ง. ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำสามารถหาได้โดยใช้วิธีทางกายภาพ

12. การตรวจวัดคุณภาพน้ำมีประโยชน์อย่างไร

- ก. ช่วยให้เราทราบคุณสมบัติบางประการของน้ำ
- ข. เพื่อหาปริมาณความต้องการใช้น้ำ
- ค. เพื่อหาสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ
- ง. ไม่มีข้อใดถูก

13. ข้อใดกล่าวผิด

- ก. ออกซิเจนละลายน้ำมาจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ
- ข. อุณหภูมิของน้ำบริเวณผิวน้ำแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ
- ค. ปริมาณน้ำจืดบนโลกมีมากกว่าน้ำเค็ม
- ง. ในเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนในน้ำจะน้อยกว่าตอนกลางวัน

14. แมลงน้ำหมายถึงข้อใด

- ก. แมลงที่อาศัยในน้ำหรือช่วงหนึ่งของชีวิตอาศัยในน้ำ
- ข. แมลงที่หากินตามแหล่งน้ำ
- ค. แมลงที่บินอยู่ตามผิวน้ำ
- ง. แมลงทั่วไป

15. แผลงหายใจผ่านอวัยวะใด
- ก. เหงือก ผิวหนัง
 - ข. ปอด ผิวหนัง
 - ค. เหงือก ปอด
 - ง. ปอด
16. อวัยวะของแมลงแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ
- ก. หัว อกและหาง
 - ข. หัว อก หาง
 - ค. หัว หาง ท้อง
 - ง. หัว อก ท้อง
17. ความชุ่มชื้นของน้ำเป็นผลมาจากสิ่งใด
- ก. ตะกอนแขวนลอย
 - ข. โลหะหนัก
 - ค. ยาปราบศัตรูพืช
 - ง. เศษอาหาร
18. อุณหภูมิของน้ำเป็นผลมาจากสิ่งใด
- ก. ฤดูกาล
 - ข. ความเข้มของแสง
 - ค. ความร้อนจากดวงอาทิตย์
 - ง. กระแสลม
19. เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อออกซิเจนละลายน้ำอย่างไร
- ก. ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง
 - ข. ออกซิเจนละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น
 - ค. ออกซิเจนละลายน้ำได้เท่าเดิม
 - ง. ไม่มีข้อถูก

20. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็นผลมาจากปัจจัยใด
- ก. ดิน
 - ข. แสง
 - ค. อากาศ
 - ง. ไม่มีข้อถูก
21. หากตรวจคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ พบการปนเปื้อนของตะกั่วและปรอท ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง
- ก. บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่การเกษตร
 - ข. บริเวณดังกล่าวมีโรงงานอุตสาหกรรม
 - ค. บริเวณดังกล่าวมีการลักลอบนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาทิ้ง
 - ง. ถูกทั้ง ข และ ค
22. แหล่งน้ำใดต่อไปนี้จะจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
- ก. แม่น้ำเจ้าพระยาช่วงจังหวัดกรุงเทพมหานคร
 - ข. แม่น้ำปิงตอนบน
 - ค. แม่น้ำบางปะกงช่วงไหลผ่านจังหวัดฉะเชิงเทรา
 - ง. ปากแม่น้ำแม่กลอง
23. ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำอย่างไร
- ก. สิ่งมีชีวิตในน้ำจะตายหากขาดออกซิเจน
 - ข. ไม่ส่งผลใดต่อสิ่งมีชีวิต
 - ค. สิ่งมีชีวิตจะขาดอาหาร
 - ง. ไม่มีข้อถูก
24. ออกซิเจนที่ละลายน้ำมาจากข้อใด
- ก. ย่อยสลายสารอินทรีย์
 - ข. การหายใจของสัตว์น้ำ
 - ค. อากาศ
 - ง. ไม่มีข้อถูก

25. การเก็บตัวอย่างน้ำและแมลงน้ำควรคำนึงถึงสิ่งใดเป็นอันดับแรก

- ก. ปริมาณที่เก็บได้
- ข. ความปลอดภัย
- ค. สภาพอากาศ
- ง. ไม่มีข้อถูก

26. เหตุใดการเก็บตัวอย่างน้ำจึงต้องเก็บอย่างน้อย 3 ซ้ำ

- ก. ป้องกันความคลาดเคลื่อน
- ข. เพื่อให้ได้ข้อมูลจำนวนมาก
- ค. เพื่อความสบายใจ
- ง. ข้อ ก และ ข ถูก

27. การเก็บตัวอย่างน้ำและแมลงน้ำควรทำในเวลาใด

- ก. 4.00 – 6.00 น.
- ข. 24.00 – 02.00 น.
- ค. 18.00 – 20.00 น.
- ง. 8.00 – 10.00 น.

28. แมลงน้ำหมายถึงข้อใด

- ก. แมลงมีปีกทั่วไป
- ข. ยุง
- ค. ตัวอ่อนชีปะขาว
- ง. ถูกทุกข้อ

29. แมลงน้ำกลุ่มใดได้รับผลกระทบจากน้ำเสียมากที่สุด

- ก. กลุ่มที่หายใจทางผิวหนัง
- ข. กลุ่มที่หายใจทางเหงือก
- ค. กลุ่มที่เกาะตามโขดหิน
- ง. ถูกทุกข้อ

30. แหล่งน้ำแห่งหนึ่งพบแมลงน้ำกลุ่มที่มีคะแนนสูง (8 – 10) แสดงว่าน้ำในแหล่งน้ำดังกล่าวควรจะเป็นไปตามข้อใด

- ก. น้ำสกปรก
- ข. น้ำคุณภาพปานกลาง
- ค. น้ำสะอาด
- ง. ถูกทุกข้อ

31. แหล่งน้ำแห่งหนึ่งพบหนอนแดงเป็นจำนวนมาก นักเรียนควรประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำดังกล่าวตามข้อใด

- ก. น้ำสะอาดปราศจากสารปนเปื้อน
- ข. น้ำคุณภาพปานกลางมีสารปนเปื้อนเล็กน้อย
- ค. น้ำสกปรกมากมีสิ่งเจือปน
- ง. ถูกทั้ง ก และ ข

32. เพราะเหตุใดจึงต้องมีการประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ

- ก. เพื่อความสบายใจในการนำน้ำไปใช้อุปโภคบริโภค
- ข. เพื่อหาสิ่งปนเปื้อนในน้ำ
- ค. เพื่อหาแนวทางการแก้ไขหากน้ำเน่าเสีย
- ง. ถูกทุกข้อ

33. นักเรียนจะมีส่วนช่วยรักษาแหล่งน้ำได้อย่างไร

- ก. ไม่ทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำ
- ข. ใช้น้ำเท่าที่จำเป็น
- ค. ชักชวนคนในครอบครัวให้ร่วมกันรักษาแหล่งน้ำ
- ง. ถูกทุกข้อ

34. หากนักเรียนพบคนกำลังทิ้งขยะลงสู่แหล่งน้ำนักเรียนควรทำอย่างไร

- ก. เข้าไปชี้แจงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น
- ข. ทำเป็นไม่รู้ไม่เห็น
- ค. โวยวายเสียงดัง
- ง. ถูกทุกข้อ

35. หากนักเรียนพบว่าแหล่งน้ำใกล้บ้านเกิดภาวะเน่าเสียควรทำอย่างไร

- ก. แจ้งผู้เกี่ยวข้อง
- ข. หาวิธีการบำบัดน้ำร่วมกับผู้ปกครอง
- ค. ป้องกันการปล่อยน้ำเสียหรือทิ้งขยะลงสู่แหล่งน้ำไม่ให้เพิ่มขึ้น
- ง. ถูกทุกข้อ

36. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ

- ก. ควรทำในช่วงเช้าเพราะแมลงน้ำจะออกหาอาหาร
- ข. มี 2 วิธี คือเก็บเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ
- ค. วิธี kick sampling คือการใช้เท้าเขี่ยบริเวณพื้นที่ตื้นน้ำ แล้วใช้สวิงดักจับ
- ง. แหล่งน้ำที่เก็บควรลึกมากกว่า 2 เมตรจะทำให้ได้ตัวอย่างจำนวนมาก

จงใช้ตารางต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อ 37 – 40

แมลงที่พบ	คะแนน	จำนวนที่พบ	คะแนนรวม
วงศ์ : Gerridae	5	4	A
วงศ์ : Nepidae	5	2	B
วงศ์ : Caenidae	4	2	C
วงศ์ : Platycnemidae	6	5	D
วงศ์ : Libellulidae	6	6	E

37. จากตาราง A หมายถึงข้อใด

- ก. 15 คะแนน
- ข. 20 คะแนน
- ค. 25 คะแนน
- ง. 40 คะแนน

38. จากตาราง BMWP score มีค่าเท่าใด

- ก. 5.2
- ข. 5.4
- ค. 5.6
- ง. 5.8

39. จากตาราง ASPT มีค่าเท่าใด

- ก. 4.5
- ข. 4.7
- ค. 4.9
- ง. 5.1

40. จากข้อ 39 เมื่อทราบค่าคะแนน ASPT แล้วหากต้องการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำต้องเอาไปเทียบกับข้อมูลใด

- ก. มาตรฐานน้ำทิ้ง
- ข. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน
- ค. มาตรฐานน้ำดื่ม
- ง. มาตรฐานน้ำบาดาล



คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

บทที่ 1

บทนำ

คู่มือฉบับนี้ใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา โดยเก็บตัวอย่างแมลงน้ำที่พบ แหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงโรงเรียน เป็นตัวแทนบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพเบื้องต้น ของแหล่งน้ำ ในเขต อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา กรณีศึกษาแหล่งน้ำบริเวณนาข้าว ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม สวนผักผลไม้ การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. สืบรวจลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่าง
 2. กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยศึกษารายละเอียดวิธีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างจากบทที่ 3
 3. ศึกษารายละเอียดการใช้อุปกรณ์ต่างๆในการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำและตัวอย่างน้ำ
- จากบทที่ 3
4. ศึกษารายละเอียดของแมลงน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างแมลงน้ำกับคุณภาพน้ำ และค่าคะแนน BMWP score
 5. บันทึกชนิดแมลงน้ำที่พบคุณภาพน้ำและค่าคะแนน BMWP score
 6. ประเมินคุณภาพน้ำ โดยเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย (ASPT) กับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

บทที่ 2

น้ำ ความสำคัญและดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

1. ความสำคัญของน้ำในการดำรงชีวิต

น้ำเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็นอย่างมาก ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย โดยเฉพาะการดำรงชีวิตของมนุษย์เรานั้น นอกจากจะใช้น้ำเพื่อการดื่มการบริโภคแล้ว ยังต้องใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ อีกหลายอย่าง เช่น การกลั่นกรอง อุตสาหกรรม พลังงาน การขนส่ง การคมนาคม ฯลฯ ดังนั้น น้ำจึงเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ และความเจริญของชุมชน ตัวอย่างที่เห็นได้ค่อนข้างชัดเจน คือ ท้องถิ่นที่มีความเจริญ มักจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีแหล่งน้ำสมบูรณ์ หรือมีแม่น้ำลำธารไหลผ่าน และท้องถิ่นที่ขาดแคลนน้ำ หรือกันดารน้ำ มักจะมีความเจริญที่ด้อยกว่า ลักษณะดังกล่าวมีปรากฏให้เห็นได้ในทวีปต่างๆ ของโลก ซึ่งประเทศที่มั่งคั่งสมบูรณ์ และมีความเจริญก้าวหน้าดีกว่า มักมีแต่น้ำอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ ความเป็นจริงดังกล่าว จะปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน แม้แต่พื้นที่เล็กลงมา ขนาดชุมชนหรือหมู่บ้านต่างๆ ในประเทศไทยก็ตาม แหล่งน้ำจะถือเป็นองค์ประกอบสำคัญมากอย่างหนึ่ง สำหรับใช้ประกอบการเลือกพื้นที่ โดยจะเลือกตั้งชุมชนแห่งใหม่ขึ้น พื้นที่ที่มีแหล่งน้ำเหมาะสมและไม่ขาดแคลน

2. ประโยชน์ของน้ำ

2.1 การชลประทาน มนุษย์ได้นำเอาน้ำจืดมาใช้หลายทาง เช่น การใช้น้ำ เพื่อการชลประทาน นับว่ามีความสำคัญมากอย่างหนึ่ง การสร้างเขื่อนต่างๆ ในประเทศไทย จุดประสงค์ส่วนใหญ่ก็เพื่อจัดหาน้ำมาใช้ในการกิจการชลประทาน แม้ว่าจุดมุ่งหมายสำคัญของบางเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าก็ตาม แต่ผลประโยชน์ที่ได้รับร่วมกันก็คือ การนำน้ำมาใช้ในการชลประทาน

2.2 การใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ปริมาณของน้ำที่นำมาใช้ในการอุตสาหกรรมจะน้อยกว่าน้ำที่นำมาใช้ในการชลประทาน โรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากต้องการนำน้ำมาใช้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ถลุงเหล็ก น้ำอัดลม เป็นต้น น้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแล้วไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทางด้านอื่น น้ำที่นำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะช่วยให้การระบายความร้อน เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า เป็นต้น ช่วยในการชักล้าง เช่น โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอต่างๆ และโรงงานทำกระดาษ เป็นต้น

2.3 การใช้น้ำในบ้าน แม้ว่าน้ำที่นำมาใช้ในบ้านจะมีปริมาณไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของน้ำที่ใช้เพื่อการอุตสาหกรรมและการชลประทาน แต่น้ำที่นำมาใช้ในบ้านจะต้องมีความบริสุทธิ์ แหล่งน้ำที่จะใช้ต้องอยู่ห่างไกลชุมชน น้ำที่จะใช้ในบ้านจะต้องเป็นน้ำอ่อน ปราศจากเชื้อโรคและสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ในน้ำ รสดี และใสสะอาด น้ำที่นำมาใช้ไม่ว่าจะมาจากน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดินจะต้องนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้สะอาดเสียก่อน

2.4 การใช้น้ำเพื่อพลังงานไฟฟ้า มนุษย์ได้รู้จักใช้พลังงานน้ำในการโมหินกะเทาะเปลือกเมล็ดพืช แต่ต่อมาในช่วงระยะหลังๆ นี้ ได้มีการผลิตกังหันน้ำ (Turbine) ขึ้น โดยการนำไปติดตั้งในบริเวณที่มีน้ำไหลแรงพอจะหมุนลูกล้อที่เป็นกังหันน้ำนี้ได้ ดังนั้น แหล่งที่เป็นที่ตั้งโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกระแสน้ำ จึงจะปรากฏอยู่ตามภูเขาที่มีหุบเขาแคบๆ ตัวอย่าง เช่น เขื่อนภูมิพลที่สร้างกันแม่น้ำปิง ที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก ตรงที่ตั้งเขื่อนจะเป็นช่วงที่ลำน้ำปิงตัดผ่านภูเขา ที่แคบจึงเหมาะที่จะใช้เป็นที่สร้างเขื่อน

2.5 การใช้น้ำในการคมนาคมขนส่ง ในสภาพปัจจุบันนั้น แม้ว่าการขนส่งทางน้ำจะลดความสำคัญลงไปบ้าง แต่อย่างไรก็ตาม การขนส่งทางน้ำก็ยังคงทำกันอยู่ ทั้งนี้ ก็เพราะการขนส่งทางน้ำจะเป็นการขนส่งที่ถูกที่สุดในจำพวกการขนส่งด้วยกัน จากการสำรวจข้อมูลการขนส่งทางน้ำของกลุ่มน้ำภาคกลางของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ที่จัดทำขึ้นครั้งแรก ในช่วงปี พ.ศ. 2506 – 2507 ปรากฏว่าเรือที่เดินติดต่อระหว่างกรุงเทพฯ กับเมืองใกล้เคียงที่อยู่รอบๆ มีประมาณ 790,000 เที่ยว ส่วนเรือที่เดินตามลำน้ำที่ไม่มียอดทางหรือปลายทางที่กรุงเทพฯ มีเพียง 53,000 เที่ยว

2.6 น้ำเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ นับว่าเป็นประโยชน์ได้จากน้ำที่มนุษย์นำมาใช้ในทางอ้อม แต่อย่างไรก็ตาม สัตว์น้ำนับว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ดังจะเห็นว่า ประเทศต่างๆ พยายามขยายฝั่งน้ำของตนจาก 12 ไมล์ ให้กว้างออกไปเป็น 200 ไมล์ ทั้งนี้ ก็เพื่อทำการสงวนรักษาสัตว์น้ำที่อยู่ในน้ำของตนไว้เป็นอาหารในช่วงที่มีความต้องการหรือจำเป็น

2.7 ใช้ประโยชน์ทางด้านนันทนาการ ประโยชน์จากน้ำในกรณีนี้ นับว่ามีความสำคัญมาก เช่นเดียวกัน และกำลังจะเพิ่มความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากประชากรของโลกมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามเมืองใหญ่ๆ มีสภาพแออัด สภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ เป็นพิษ แหล่งน้ำตามธรรมชาติที่ไหลผ่านเมืองใหญ่ๆ จะเกิดการเน่าเสีย สภาพของน้ำดังกล่าวตามเมือง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทางด้านนันทนาการ โลกมีน้ำปกคลุม 71% บนพื้นผิวโลกแต่ร้อยละ 97 ของน้ำในโลกเป็นน้ำทะเลในมหาสมุทร เพียงร้อยละ 3 เท่านั้นที่เป็นน้ำจืด ในร้อยละ 3 นี้ แบ่งเป็นน้ำแข็งที่ขั้วโลกและกลาเซียร์ ร้อยละ 2.4 ประมาณร้อยละ 0.5 เป็นน้ำใต้ดิน ส่วนน้ำจืดในแม่น้ำและแหล่งน้ำผิวดินทั้งหลายที่เราใช้กันอยู่ คิดเป็นปริมาณน้ำเพียงร้อยละ 0.01 ของน้ำในโลกเท่านั้น จะเห็นได้ว่าน้ำ ที่เราเคยคิดว่ามีจำนวนมากแต่แท้จริงแล้วน้ำที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ได้จริงมีเพียงน้อยนิด และเมื่อประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้น้ำจึงมีมากขึ้นตาม ในขณะที่ปริมาณน้ำมีเท่าเดิม ดังนั้น มนุษย์ในฐานะผู้ใช้นาจึงต้องใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและอนุรักษ์น้ำไว้ให้ใช้ได้ตลอดไป

ปัญหาสำคัญในปัจจุบัน คือ การปล่อยน้ำทิ้งที่ใช้แล้วลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งจากภาคครัวเรือน การเกษตร และอุตสาหกรรม มีผลทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ให้ความหมายของคุณภาพน้ำว่า หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำในแง่ของการอุปโภคบริโภค มีคุณสมบัติเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่ละลายในน้ำนั้นๆ ซึ่งการศึกษาคุณภาพน้ำแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

คุณภาพน้ำ เป็นสภาพของน้ำที่ปรากฏให้ทราบว่ามีลักษณะเหมาะแก่การนำไปใช้ อุปโภคบริโภคหรือใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ได้หรือไม่ คุณภาพน้ำบางตัวสามารถบอกได้ด้วยวิธีง่ายๆ โดยใช้ประสาทสัมผัส การมองเห็นหรือการสัมผัสได้ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ฯลฯ แต่บางครั้งสารบางอย่างไม่สามารถตรวจสอบด้วยวิธีง่ายๆ ได้เช่น เชื้อโรค สารพิษต่างๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำนั้น เป็นต้น สำหรับการพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำจะต้องพิจารณาคุณสมบัติ ทั้ง 3 ประการ คือ

1. คุณสมบัติทางกายภาพ ต้องปราศจากความขุ่น ตะกอน รส กลิ่น สี โดยปกติแล้วคุณสมบัติทางกายภาพนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงมักจะบอกได้ทันทีว่าน้ำนั้นมีคุณภาพดีหรือไม่ดีได้

2. คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ แร่ธาตุและสารเคมีต่างๆ ที่อาจจะมีปะปนอยู่ในน้ำ สารเคมีที่ละลายน้ำอยู่ในน้ำบางชนิดก็เป็นพิษรุนแรงมาก และบางชนิดก็จะเกิดสะสมขึ้นในร่างกาย และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สารเคมีดังกล่าวนี้ เช่น เหล็ก ตะกั่ว ทองแดง สารหนู เซเลเนียม ไซยาไนต์ ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ จึงจำเป็นจะต้องได้รับการตรวจคุณภาพทางด้านเคมีให้แน่ชัดเสียก่อนว่า ไม่มีสารเคมีต่างๆ ปะปนอยู่ในน้ำเกินกว่ามาตรฐานของน้ำดื่ม

3. คุณสมบัติทางชีววิทยา ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อาจจะมีปะปนมากับน้ำ โดยเฉพาะน้ำดื่มจะต้องปราศจากเชื้อโรคปะปน เชื้อโรคที่อาจจะมีปะปนมากับน้ำ เราไม่อาจจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการจึงจะทราบได้ และเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำแต่อาจจะไม่ทำให้เกิดโรค เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะมีอยู่ในน้ำบ้างก็ไม่น่าจะเป็นอันตราย แต่เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวนี้บางชนิดอาจก่อให้เกิดโรคระบาดได้

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพสามารถพิจารณาได้ดังนี้

คุณภาพน้ำทางกายภาพ (Physical Quality) เป็นลักษณะของความสกปรกในน้ำที่ปรากฏให้เห็นได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้าคุณสมบัติ เหล่านี้ ได้แก่ สี (Color) กลิ่น (Odor) รส (Tastes) ความขุ่น (Turbidity) และ อุณหภูมิ (Temperature)

1. ความขุ่น (Turbidity) ได้แก่ น้ำมีตะกอนแขวนลอย ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และจุลินทรีย์สาร เกิดปัญหาด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมในด้านความน่าดื่มมาใช้

2. สี (Color) เกิดจากการหมักหมมทับถมกันของพืชใบไม้ เศษวัสดุ อินทรีย์ต่างๆ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน และอุตสาหกรรม มีปัญหาต่อด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3. กลิ่น (Odor) เกิดจากการที่น้ำมีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น สาหร่าย ฯลฯ หรือเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ ในภาวะขาดแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดแก๊สไข่เน่า (H_2S) หรือเกิดจากการปนเปื้อนจากน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้น้ำไม่น่าดื่มและใช้สอยหรือสร้างเหตุรำคาญ

4. รสชาติ (Taste) เกิดจากการละลายน้ำของพวกเกลืออนินทรีย์ เช่น เกลือทองแดง เกลือเหล็ก เกลือโพแทสเซียม เกลือโซเดียม หรือสังกะสี ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่นกัน

5. อุณหภูมิ (Temperature) เปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ เนื่องจากดินฟ้าอากาศ แต่บางโอกาสเกิดจากน้ำทิ้งในกิจกรรมต่างๆ จากมนุษย์หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่สิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไป และยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40°C

คุณภาพน้ำทางเคมี (Chemical Quality) มาจากแร่ธาตุ สารต่างๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ เป็นลักษณะความสกปรกในน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาได้ แร่ธาตุและสารต่างๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำตามธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไป ก็จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจจะสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารได้สารต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ ความเป็นกรด (Acidity) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ความกระด้าง (Hardness) เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) คลอไรด์ (Chlorides) ฟลูออไรด์ (Fluorides) และสารพิษอื่นๆ (Toxic substances) เป็นต้น

1. พีเอช (pH) พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[\text{H}^+]$ ในน้ำ ค่าพีเอช แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย น้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรด จะมีค่าพีเอช น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่าพีเอช มากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอช ของน้ำทิ้ง มีความสำคัญในการบำบัด ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้

2. ความกระด้างของน้ำ (Hardness) เมื่อทำปฏิกิริยากับสบู่แล้ว สบู่เกิดฟองได้ยาก สาเหตุของความกระด้างเกิดจากเกลือ ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เกลือ (SO_4^-) เกลือคลอไรด์ (Cl^-) และเกลือ (NO_3^-) รวมตัวกับธาตุต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) แบ่งความกระด้างเป็นกระด้างชั่วคราว กับกระด้างถาวร

3. ความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity) ปริมาณความจุของกรดเข้มข้นในน้ำที่จะทำให้น้ำเป็นกลาง เป็นการหาว่าน้ำจะต้องใช้กรดทำให้เป็นกลางเท่าไร ซึ่งเกิดจากเกลือคาร์บอเนตไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ของธาตุต่างๆ ความสำคัญ ของดำนอนามัยสิ่งแวดล้อม ไม่มีความเกี่ยวข้องต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์โดยตรงเพียงแต่จะทำให้รสชาติของน้ำไม่น่าบริโภค ความเป็นด่างจะทำหน้าที่เป็นตัวคุมพีเอชของน้ำ และควมมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนของน้ำ

4. ความเป็นกรดของน้ำ (Acidity) ปริมาณความเข้มข้นที่ต้องการจะให้น้ำเป็นกลาง ซึ่งบ่งชี้ได้ โดยค่าพีเอช ความเป็นกรดของน้ำ อาจเกิดจากกรดแร่ (Strong mineral acid) กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) กรดไนตริก (nitric acid) ฯลฯ หรือเกิดจากกรดอ่อน (Weak acid) เช่น กรดคาร์บอนิก (Carbonic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) ฯลฯ หรือเกิดจากเกลือต่างๆ เช่น เฟอรัสซัลเฟต (ferrous sulfate) เกลืออลูมิเนียมซัลเฟต (aluminum sulfate) ฯลฯ น้ำที่มี พีเอชต่ำกว่า 8.5 จะมีค่าความเป็นกรด โดยธรรมชาติน้ำจะมีความเป็นกรดเพราะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ละลายอยู่ในน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

5. เหล็กและแมงกานีส (Iron and Manganese) ธาตุเหล็ก โดยทั่วไป อยู่ในน้ำ ในรูปสารไม่ละลายน้ำ (Insoluble form) ในรูป เฟอริกออกไซด์ (Ferric oxide = Fe_2O_3) ในดินบางแห่ง จะมีเฟอร์รัสคาร์บอเนต ซึ่งละลายน้ำได้เล็กน้อย เหล็กละลายน้ำได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 3.5

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เหล็กและแมงกานีสที่อยู่ในน้ำตามธรรมชาติแล้ว ไม่เป็นอันตรายต่อการบริโภค ถ้ามีเหล็กมากกว่า 1 - 2 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำก็จะมีรสหวานปนขม (Bitter sweet) ถ้าอยู่ในรูปของสารไม่ละลายน้ำทำให้น้ำมีสีและขุ่นทำให้ไม่น่าใช้ถ้าในน้ำมีเหล็กและแมงกานีส ถ้านำไปซักเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจะทำให้เกิดรอยต่างบนเสื้อผ้า และจะทำให้เครื่องสุขภัณฑ์หรือเครื่องใช้ต่างๆ มีคราบสีน้ำตาลแดงหรือดำ

6. คลอไรด์ (Chloride) ที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพื้นดินหรือชั้นดินที่มีปริมาณคลอไรด์ น้ำธรรมชาติรับคลอไรด์จากหลายทาง อาจมาจากสิ่งปฏิกูล โดยเฉพาะน้ำปัสสาวะจะมีปริมาณคลอไรด์สูง จากปฏิกูลของมนุษย์มีคลอไรด์ออกมาวันละประมาณ 16 กรัม/คน/วัน

ความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อม ถ้ามีปริมาณคลอไรด์น้ำมากจะทำให้รสชาติของน้ำไม่น่าบริโภค

7. ฟลูออไรด์ (Fluoride) น้ำธรรมชาติมักไม่มีฟลูออไรด์ละลายอยู่ แต่มีความสำคัญต่อสุขภาพฟัน ถ้าฟลูออไรด์มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดฟันเป็นคราบ (Dental fluorosis) ถ้ามีฟลูออไรด์น้อยเกินไปทำให้เกิดโรคฟันเปราะ (Dental caries) ขนาดที่เหมาะสมในน้ำดื่มคือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

8. ตะกั่ว (Lead) ตามธรรมชาติจะไม่มีตะกั่ว มักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และการอุตสาหกรรม ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ การใช้สีผสมตะกั่ว การใช้ยาฆ่าแมลง ในการเกษตร เครื่องสำอาง ฯลฯ

ความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อม แม้จะมีสารตะกั่วละลายอยู่ไม่มากนัก ก็คงจะเป็นอันตรายต่อการบริโภคน้ำได้ เพราะตะกั่วมีฤทธิ์สะสม ปริมาณในน้ำ ไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการสะสมกลายเป็นโรคพิษของตะกั่ว จะบั่นทอนสมองและระบบประสาท

9. ทองแดง (Copper) มักไม่เกิดจากธรรมชาติ สาเหตุเกิดจากมนุษย์ และโรงงานอุตสาหกรรมหรือ เกิดจากการใช้สารซันสี (CuSO_4) ในการทำลายสาหร่าย

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ทองแดงมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ทุกชนิด โดยเฉพาะมนุษย์ ซึ่งต้องการบริโภคจากอาหารเฉลี่ยวันละประมาณ 2 มิลลิกรัม ถ้าขาดทองแดงจะทำให้เป็นโรคโลหิตจางได้ ถ้ามีปริมาณมากแม้เพียง 0.25 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรก็เป็นพิษต่อปลา ถ้ามี 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ภาชนะกระเบื้องเคลือบเป็นคราบรอยต่าง ในน้ำดื่มมีปริมาณ 1 – 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีรสขม

10. สังกะสี (Zinc) ในน้ำผิวดินมักจะมีสังกะสีละลายอยู่ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การเกิดสังกะสีละลายอยู่ในน้ำ อาจเกิดจากสาเหตุ ท่อน้ำหรือภาชนะที่ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี ยางรถยนต์

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมถ้าร่างกายขาดธาตุสังกะสีจะเกิดโรคแคระแกรน (Dwarfism) ในน้ำมีปริมาณสังกะสีประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่านี้จะทำให้ผิวหนังเกิดเป็นคราบน้ำมัน ถ้ามีปริมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้น้ำมีรสชาดขม ขนาดประมาณ 25 – 40 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน

11. ไนไตรท์ (Nitrite) ในน้ำธรรมชาติที่ไม่ได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกนั้นจะไม่มี ไนไตรต์ละลายอยู่ ไนไตรต์เกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ในการ ออกซิเดชันพวกแอมโมเนีย ก่อนที่จะกลายเป็นไนเตรต

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมในน้ำมีไนไตรต์ละลายอยู่แสดงว่า น้ำได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกที่มีอินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบ ไม่ควรให้มีในน้ำดื่มเกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะจะทำให้เกิดโรคในเด็กทารกคือ โรค blue babies ทำให้มีอาการ cyanosis คือมีภาวะที่ผิวหนังเป็นสีเขียว (น้ำเงิน) เนื่องจากขาดเลือด ขาดออกซิเจนทำให้ถึงตายได้ มักเกิดในเด็กทารกที่มีอายุต่ำกว่า 3 เดือน เป็นส่วนใหญ่

12. ไนเตรต (Nitrate) มีอยู่ในน้ำธรรมชาติในปริมาณที่น้อย ในน้ำมีไนเตรต ก็อาจจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นไนไตรต์ได้ในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือออกซิเจนในน้ำ

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ไนเตรตละลายอยู่ในน้ำ นอกจากเป็นภาวะบ่งชี้ว่าน้ำ อาจได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก ทำให้เกิดโรคในเด็กทารกได้เช่นเดียวกับการที่น้ำมีไนไตรต์ เพราะมันสามารถเปลี่ยนรูปกันได้ ถ้าในน้ำมีไนเตรตละลายอยู่ปริมาณมาก อาจทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำได้ดีโดยเฉพาะพวกสาหร่าย

13. แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) มักพบในน้ำใต้ดินโดยธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะขาดอากาศ แล้วจะถูกละลายกับน้ำ ในขณะที่น้ำไหลผ่านไปบนชั้นของดิน สังเกตได้จากการที่น้ำมีกลิ่นไข่เน่า

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ในน้ำดื่มไม่ควรมีปริมาณมากกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีประมาณ 70 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้เกิดความระคายเคือง ต่อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย ถ้ามีประมาณ 700 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความเป็นพิษสูง ผลเสียอื่นๆ เกิดการกัดกร่อนภาชนะหรือท่อทำให้เสื้อผ้าและเครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ มีคราบสีดำ

14. สารหนู (Arsenic) อาจเกิดในน้ำตามธรรมชาติเนื่องจากการไหลของน้ำ ผ่านชั้นดิน หรือหินที่มีสารหนู อาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์อันได้แก่การใช้ยาฆ่าศัตรูพืช หรือสัตว์ หรือปุ๋ย หรือผงซักฟอกที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม สารหนูเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง น้ำดื่มไม่ควรมีสารหนูละลายอยู่มากกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

15. พวกลไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes=THMs) พวกลไตรฮาโลมีเทน Chloro – organic Compounds เชื่อกันว่าเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนหรือพวกลฮาโลเจนอื่นๆ กับ สารอินทรีย์และฟลูอิดหรือสารที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารอื่นๆ ซึ่งพวกลไตรฮาโลมีเทนนี้รวมถึง

คลอโรฟอร์ม (Chloroform) โบรมोฟอร์ม (Bromoform) และไดคลอโรไอโอดมีเทน (Dichloriodomethane)

ความสำคัญทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม คาดการณ์ว่าการที่น้ำดื่มมีไตรฮาโลมีเทนอาจทำให้เกิดมะเร็ง กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มสำหรับประปา ควรให้มีค่า THMs ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร

คุณภาพน้ำทางชีวภาพ (Biological Quality) มาจากจุลินทรีย์ (Micro-organisms) ที่อาศัยอยู่ในน้ำ จุลินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส รา โปรโตซัว โรติเฟอร์ ครัสเตเชียม สาหร่าย น้ำที่มีจุลินทรีย์มากจะเกิดมลพิษที่มีผลกับสุขภาพได้โดยตรง อาจก่อให้เกิดโรคระบาดที่มีน้ำเป็นสื่อได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคระบบทางเดินอาหาร ที่สำคัญมักเกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรค (Pathogens) ปนเปื้อนอยู่ในอาหารและน้ำ แล้วทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ พาราไทฟอยด์บิด ชนิดมีตัว ไวรัสตับอักเสบ เป็นต้น

จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมีทั้งจุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

1. จุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Nonpathogenic microorganism) ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย หรือราบางชนิด ซึ่งนอกจากจะไม่ทำให้เกิดโรคแล้ว ยังมีส่วนช่วยในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำ สำหรับน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค มักไม่ต้องการให้มีจุลินทรีย์อยู่เลยหรือให้มีจำนวนน้อยมากเท่าไรดียิ่งดี

2. จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic microorganism) มีมากมายหลายชนิด มีทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดอาการของโรคอย่างรุนแรงถึงตายได้ ไปจนถึงเพียงแค่มีอาการเจ็บป่วยเล็กน้อย ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว และหนอนพยาธิ เชื้อโรคสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน อาจจะหลายชั่วโมง หลายเดือน หรือหลายปีขึ้นอยู่กับปัจจัย ได้แก่ รูปลักษณะของมัน เช่น เป็นเซลล์ปกติ หรือเป็นสปอร์ หรือเป็นไข่ ฯลฯ ถ้ามันอยู่ในรูปของสปอร์ก็จะคงอยู่ในน้ำได้ทนทาน หรือทางด้านสิ่งแวดล้อม ที่เชื้อโรคนั้นๆ อาศัยอยู่ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น อาหารถ้ามันอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม อาจเพิ่มจำนวนมากขึ้นจนอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ จะกล่าวถึงจุลินทรีย์ที่อาจทำให้เกิดโรคโดยมีน้ำเป็นตัวนำโรค ดังนี้

2.1 ไวรัส (Virus) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมากที่สุดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายพิเศษ ไวรัสที่อาจพบแพร่กระจายในน้ำ ได้แก่ ไวรัสที่ทำให้เกิดโรคตับอักเสบชนิด เอ (Infectious hepatitis type A) หรือไวรัส ที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรงในเด็ก (Gastroenteritis Viral) เป็นต้น

2.2 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าไวรัสสามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ก็มองเห็นได้ มีเซลล์เดี่ยว ใช้อาหารในรูปของสารละลาย พบได้ทุกหนทุกแห่งโดยเฉพาะที่ๆ มีสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวย เช่น มีความชื้นและอาหารแบคทีเรียมีรูปร่างเป็น 3 แบบ คือรูปร่างกลม (spherical) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 1.0 ไมครอน รูปร่างเป็นแท่ง (cylindrical หรือ rod) ความกว้างประมาณ 0.5 – 1.0 ไมครอน ความยาวประมาณ 1.5 – 3.0 ไมครอน และมีรูปร่างเป็นเกลียว (spiral) ขนาดความกว้างประมาณ 0.5 – 5.0 ไมครอน ความยาวประมาณ 6.0 – 15.0 ไมครอน แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค โดยมีน้ำเป็นตัวนำ ได้แก่

2.2.1 อหิวาตกโรค (Cholera) เกิดจาก *Vibrio cholera*

2.2.2 โรคไข้รากสาด (Typhoid fever) เกิดจาก *Salmonella paratyphoid A,B* และ *C*

2.2.3 โรคบิด (Bacillary dysentery) เกิดจาก *Shigella flexneri* หรือ

Shigella dysenteriae

2.3 โปรโตซัว (Protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ มีเซลล์เดียว โปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ โรคบิด ชนิดอมีบา (Amoebic dysentery) เกิดจากโปรโตซัวชนิด *Entamoeba histolytica*

2.4 หนอนพยาธิ (Helminth) แบ่งหนอนพยาธิออกเป็น 3 ประเภท คือพยาธิตัวกลม พยาธิตัวแบน และพยาธิใบไม้

2.4.1 โรคพยาธิไส้เดือนกลม (*Ascaris lambricoides*)

2.4.2 โรคพยาธิเข็มหมุด (Pin worm)

2.4.3 โรคพยาธิใบไม้ในปอด (Lung flukes)

นอกจากจุลินทรีย์แล้ว ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ใช้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สาหร่ายขนาดใหญ่ สัตว์หน้าดิน พืชน้ำ และปลา โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางชีวภาพ เนื่องจากสัตว์หน้าดินมีความหลากหลายและแพร่กระจายในบริเวณกว้างสามารถเคลื่อนที่ได้น้อย และไวต่อการถูกรบกวน ดังนั้น จึงได้รับผลกระทบโดยตรงจากมลพิษ และแม้เวลาผ่านไปก็ยังตรวจสอบผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำบริเวณนั้นๆ ได้ เนื่องจากสัตว์หน้าดินสามารถฟื้นตัวได้ช้า นอกจากนี้แล้วยังมีความสำคัญในห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากเป็นผู้ผลิตหรือผู้บริโภคในระดับต้นๆ จึงมีผลต่อความซุกซมของผู้บริโภคในระดับที่สูงขึ้น ดังนั้น ชนิดและจำนวนของสัตว์ หน้าดิน จึงสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพแหล่งน้ำได้

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำข้อมูลด้านปริมาณ และคุณภาพมาประกอบ การตัดสินใจบางประการนั้น มีความสำคัญมากข้อมูลที่ได้อาจแม่นยำ และเที่ยงตรง โดยเมื่อจะทำการ วิเคราะห์หาปริมาณของสารใดก็ต้องเลือกวิธีวิเคราะห์ที่ดีที่สุด และเหมาะสมที่สุด ซึ่งบางครั้งวิธีวิเคราะห์ สำหรับหาปริมาณของสารที่สนใจ แต่ละชนิดอาจมีวิธีวิเคราะห์หลายวิธี นักวิเคราะห์ควรเลือกวิธีที่ให้ผล การวิเคราะห์ เป็นที่ยอมรับและมีผลปฏิบัติในด้านกฎหมายได้การวิเคราะห์คุณภาพโดยทั่วไปสามารถ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว

มาตรฐานคุณภาพน้ำสะอาด คุณภาพน้ำทิ้ง และคุณภาพแหล่งน้ำ

มาตรฐานคุณภาพน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. มาตรฐานน้ำสะอาด

น้ำสะอาดและปลอดภัย หมายถึง น้ำที่มีลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. ปราศจากเชื้อ ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคที่น้ำเป็นสื่อ
2. ไม่มีสารพิษเจือปน
3. หากมีสารหรือแร่ธาตุบางอย่างปนอยู่จะต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า น้ำสะอาดและปลอดภัย อาจมีสิ่งเจือปนอยู่ได้บ้าง แต่สิ่งเจือปนนั้น ต้องไม่ใช่เชื้อโรค หรือสารพิษ และสิ่งเจือปนอย่างอื่นที่ยอมให้มีอยู่ได้บ้างนั้นจะต้องมีปริมาณไม่เกินกว่า มาตรฐานที่กำหนดไว้ น้ำจากแหล่งใดก็ตามที่คุณภาพไม่ได้มาตรฐานตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เรา จะเรียกน้ำนั้นว่า “น้ำสกปรก” ส่วนน้ำ ที่ปราศจากสิ่งเจือปนใดๆ เราจะเรียกว่า น้ำบริสุทธิ์ มาตรฐาน น้ำสะอาด (Standards of Water for Beneficial Usage) โดยทั่วไปมีเกณฑ์พิจารณาคุณภาพน้ำตาม วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้สอยได้อย่างกว้างๆ 3 ประเภท คือ เพื่อการดื่ม การเกษตร การอุตสาหกรรม

มาตรฐานน้ำดื่ม เนื่องจากในน้ำอาจมีสิ่งเจือปนอยู่ได้หลายชนิด สิ่งเจือปนเหล่านี้ เป็นสาเหตุให้ คุณภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไป และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ยัง เป็นวัตถุประสงค์พื้นฐานในการผลิตสินค้าหลายชนิด เช่น น้ำแข็ง เครื่องดื่ม และน้ำบริโภค บรรจุขวด เป็นต้น ดังนั้น จึงเป็นการจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการกำหนดมาตรฐานน้ำดื่มหรือน้ำสะอาดขึ้น เพื่อจะได้ใช้ เป็นหลักในการตัดสินหรือวินิจฉัยว่า น้ำนั้นสะอาดได้มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ การกำหนดมาตรฐาน ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ด้วย เช่น ถ้านำไปใช้เป็นตัวทำลายสารเคมี เพื่อ ทำการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ หรือนำไปใช้ในทางกิจการทางการแพทย์ก็ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ แต่ถ้า นำไปใช้เพื่อการดื่มปกติ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ แต่ก็ต้องควบคุมชนิดและปริมาณของสารเคมี บางอย่าง ซึ่งเป็นอันตราย หรืออาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด รวมทั้งต้องควบคุม ให้ปราศจากเชื้อ ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อด้วย การกำหนดรายละเอียดในมาตรฐาน น้ำดื่มว่าจะยอมให้มีสิ่งเจือปนชนิดไหนอยู่ได้เท่าไรนั้น วางอยู่บนหลักที่ว่าสิ่งเจือปนนั้น จะต้องอยู่ ในขีดจำกัดที่สามารถรับรองได้ว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือบั่นทอนสุขภาพอนามัยของมนุษย์ โดยหลัก การนี้มาตรฐานน้ำดื่ม จึงอาจถูกกำหนดขึ้นได้หลายแบบ และแบบที่จะกล่าวถึงเป็นเกณฑ์มาตรฐาน น้ำดื่มของประเทศไทย

เกณฑ์ของน้ำดื่มที่เหมาะสมสำหรับคนไทย หรือสำหรับประเทศไทยที่ใช้ๆ กันอยู่ตามหน่วยงาน ต่างๆ เช่น ของการประปานครหลวง กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ล้วนแต่อิง จากมาตรฐานของต่างประเทศทั้งนั้น ซึ่งอาจจะอิงจากมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา หรืออิงจากมาตรฐาน ขององค์การอนามัยโลก เป็นต้น ดังนั้น เกณฑ์ของคุณภาพน้ำบางตัวอาจจะสูงเกินไปสำหรับคนไทย ก็ได้ แต่เกณฑ์ของน้ำดื่มที่จะนำมาแสดงเป็นตัวอย่าง เพื่อให้เกิดทัศนคติหรือแนวคิดต่อไปนี้ เป็นเกณฑ์ ของน้ำดื่มของการประปาฯ

1. สารบางตัวที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำดื่ม ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเรามากนัก แต่ถ้ามีมากเกินไปที่กำหนดไว้ก็จะทำให้น้ำไม่น่าดื่ม คือ

กลิ่นและรส (Odour and tastes)	ไม่เป็นที่รังเกียจ
สี (Color)	20 หน่วย
ความขุ่น (Turbidity)	5 หน่วย
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH value)	6.8 – 8.2
ความกระด้าง (Hardness)	300 ส่วนในล้านส่วน

เหล็ก (Iron)	0.5 ส่วนในล้านส่วน
แมงกานีส (Manganeses)	0.3 ส่วนในล้านส่วน
ซัลเฟต (Sulphate)	250 ส่วนในล้านส่วน
คลอไรด์ (Chloride)	250 ส่วนในล้านส่วน

2. สารจำพวกที่เกี่ยวกับสุขภาพ ถ้ามีมากเกินไปจนเกินที่กำหนดอาจทำให้เกิดโรคได้ คือ
 - ฟลูออไรด์ (Fluoride) 1.2 ส่วนในล้านส่วน
 - ไนเตรท (Nitrate) 1.5 ส่วนในล้านส่วน
 - ไนไตรท์ (Nitrite) ต้องไม่มีอยู่เลยหรือมีน้อยกว่า 0.001 ส่วนในล้านส่วน

3. แบคทีเรียที่อาจจะทำให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้ ยอมให้มีได้ ดังนี้

3.1 น้ำสะอาด โคโลฟอร์มแบคทีเรีย ค่า MPN น้อยกว่า 2.2 ต่อ น้ำ 100 ซีซี

หรือไม่มีเลย

3.2 น้ำที่สงสัยว่าสะอาดหรือไม่ มีโคโลฟอร์มแบคทีเรีย ค่า MPN 3-10 ต่อ น้ำ 100 ซีซี

3.3 น้ำที่ไม่สะอาดจะมีโคโลฟอร์มแบคทีเรีย ค่า MPN มากกว่า 10 ต่อ น้ำ 100 ซีซี

3.4 สำหรับน้ำประปาจะต้องมีโคโลฟอร์มแบคทีเรีย ค่า MPN น้อยกว่า 2.2 ต่อ น้ำ 100 ซีซี นอกจากนี้ ยังมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่

3.4.1 มาตรฐานน้ำดื่มตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

3.4.2 มาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง

3.4.3 ข้อเสนอแนะเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก ปี พ.ศ. 2527

2. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (Effluent Standard)

เป็นเกณฑ์กำหนดเพื่อมิให้แหล่งกำเนิดน้ำเสียหรือน้ำทิ้งต่างๆ ได้แก่ บ้านเรือน สถานที่ทำการ โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ปล่อยน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ที่มีความสกปรกมาก จนทำให้แหล่งรับน้ำเกิดปัญหาในด้านคุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้ง มีความสำคัญต่อการจัดการน้ำสะอาดมาก เพื่อไม่ให้เกิดการกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น พื้นดิน แหล่งน้ำ ฯลฯ ซึ่งมีการปล่อยน้ำทิ้งลงไป รวมทั้งการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนี้กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพน้ำทิ้งที่สำคัญ ได้แก่

2.1 ออกซิเจนละลายน้ำ (DO, dissolved oxygen)

2.2 ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)

2.3 Coliform bacterias

2.4 Fecal coliform bacterias

2.5 สารเคมีเป็นพิษต่างๆ (Toxic chemical)

2.6 สารอาหาร (nutrient) และสารอินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้ เป็นต้น

สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศไทยมีอยู่ 4 ประการ

1. มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อบาดาล
3. มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร
4. มาตรฐานการควบคุมการเปลี่ยนน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ

3. มาตรฐานแหล่งน้ำ (Stream Standard)

เกณฑ์ที่ใช้รักษาคุณภาพของแหล่งน้ำ โดยทั่วไปแล้วคำนึงถึงการไม่ทำให้แหล่งน้ำเกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญ เป็นที่น่ารังเกียจ เช่น ไม่ให้มีกลิ่นเหม็น ไม่ให้มีสิ่งสกปรกต่างๆ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ เพื่ออนุรักษ์แหล่งน้ำใช้เพื่อประโยชน์ต่างๆ ได้แก่ การบริโภค อุปโภค ฯลฯ

สำหรับประเทศไทย ได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ใช้ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฯ พ.ศ. 2535 ได้มีการแบ่งแหล่งน้ำผิวดินที่มีใช้ทะเล ไว้เป็น 5 ประเภท

ประเภทที่ 1 แหล่งน้ำที่มีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้ง จากกิจกรรมทุกประเภท ใช้ประโยชน์ในการ

1. อุปโภค/บริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
2. ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับต่ำจน
3. อนุรักษ์ระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์ เพื่อ

คุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

1. อุปโภค/บริโภค ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุง
2. อนุรักษ์สัตว์น้ำ
3. ประมง
4. การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 แหล่งน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท สามารถใช้เป็นประโยชน์

1. อุปโภค/บริโภคฆ่าเชื้อ และปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. เกษตร

ประเภทที่ 4 แหล่งน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภค/บริโภค ฆ่าเชื้อและต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษ
2. การคมนาคม

ประเภทที่ 5 แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท ใช้ประโยชน์ ในการคมนาคม

แหล่งน้ำ

ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน เราสามารถแบ่งแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญออกได้เป็น

1. ทะเล เป็นแหล่งน้ำผิวดินที่ใหญ่ที่สุดคือ ปริมาณ สองในสามส่วนของพื้นผิวโลกทั้งหมด เนื่องจากเป็นน้ำเค็มไม่เหมาะแก่การที่จะใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับดื่ม หรือแหล่งน้ำเพื่อผลิตเป็นน้ำประปา ให้แก่ประชาชนได้ เพราะต้นทุนการผลิตจะสูง แต่ในกรณีที่มีความจำเป็นก็สามารถนำเอาน้ำทะเลมาปรับปรุงคุณภาพโดยการกลั่นให้เป็นน้ำจืดบริการแก่ประชาชนได้

2. แม่น้ำลำคลอง เป็นแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญที่สุดที่ประชากรโลกใช้ดื่มและใช้ในการกิจการ ประปาได้ ต้นกำเนิดของแหล่งน้ำนี้มาจากลำธารสายเล็ก ๆ มารวมบรรจบกันเป็นแม่น้ำ แล้วแม่น้ำจะ ไหลลงสู่ทะเลต่อไป ซึ่งโดยมากแล้วน้ำในแม่น้ำลำคลองจะมีปริมาณความขุ่นหรือสีอยู่ในเกณฑ์สูงเนื่องจาก แม่น้ำไหลผ่านสิ่งต่าง ๆ มากมายชะล้างสิ่งต่าง ๆ ละลายปนลงมาน้ำด้วยเช่นพวกสารอินทรีย์ เคมีต่าง ๆ หรือแร่ธาตุ ละลายปนมากับน้ำได้ ดังนั้น ก่อนนำมาบริโภคจึงควรผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ของการปรับปรุง คุณภาพเสียก่อนหรือบางครั้งในฤดูร้อนเมื่อโรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ กำลังระบาดอยู่ ควรมีการต้ม น้ำ หรือเพิ่มสารคลอรีนลงไปในน้ำก่อนที่จะนำมาดื่ม

3. ทะเลสาบ นับว่าเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่ดีประเภทหนึ่ง เพราะน้ำจากทะเลสาบมักจะมี ความขุ่นต่ำทั้งนี้ เพราะทะเลสาบเปรียบเสมือนอ่างเก็บน้ำใบใหญ่ที่มีการตกตะกอน และมีการฟอกตัวเอง ของน้ำ (self-purification) ตามธรรมชาติมาแล้วทะเลสาบมี 2 ชนิดคือ ทะเลสาบปิด และทะเลสาบเปิด

3.1 ทะเลสาบปิด คือ ทะเลสาบที่ไม่มีทางติดต่อกับทะเลได้เลย ทะเลสาบแบบนี้บางที่ บ้านเราเรียกว่า สระ หรือบึง หรือ หนองน้ำ ส่วนมากน้ำในทะเลสาบปิดจะเป็นน้ำจืดที่มีต้นกำเนิดมา จากน้ำฝนตกมาขังไว้เป็นปริมาณมาก ๆ เช่น บึงบอระเพ็ด และทะเลสาบหนองหาน เป็นต้น

3.2 ทะเลสาบเปิด คือ ทะเลสาบที่มีเขตหรือทางติดต่อกับทะเล น้ำจากทะเลสาบจะ ไหลลงสู่ทะเลได้ถ้าระดับน้ำในทะเลสาบสูงกว่า ระดับน้ำทะเล แต่เวลาที่น้ำทะเลหนุนระดับน้ำทะเลจะ สูงกว่าระดับน้ำในทะเลสาบ น้ำในทะเลก็จะไหลเอ่อเข้ามาในทะเลสาบ ดังนั้นน้ำในทะเลสาบแบบนี้จึง มักจะเป็นน้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย เพราะถูกผสมปนเปื้อนด้วยน้ำทะเล ตัวอย่าง ของทะเลสาบเปิด เช่น ทะเลสาบสงขลา ทะเลสาบแม่โขง

4. อ่างเก็บน้ำ (reservoir) เป็นแหล่งน้ำที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับทะเลสาบมาก แต่เป็น ทะเลสาบเทียมที่มีขนาดเล็กกว่าและมนุษย์สร้างขึ้นเอง เพื่อจะใช้เป็นแหล่งเก็บน้ำ น้ำในอ่างเก็บน้ำบางแห่ง อาจจะมีปริมาณพอเพียงแก่การใช้ได้ตลอดปี แต่บางแห่งก็มีไม่พอใช้ตลอดปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความจุ ของอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาและถูกกักกันไว้ นอกจากนี้ตามธรรมชาติบางแห่ง จะมีการระเหยของน้ำค่อนข้างสูง คุณภาพของน้ำในอ่างเก็บน้ำ มักจะดีกว่าน้ำในแม่น้ำลำคลอง ทั้งนี้เพราะ น้ำในแม่น้ำลำคลองไหลผ่านบ้านคนมาเป็นระยะทางยาว และมักมีเรือสัญจรไปมาตลอดเวลา ย่อมจะ เป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลอง มีความสกปรกกว่าน้ำในสระหรือน้ำในอ่างเก็บน้ำ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. สวิงตาถี
2. ถาดออลูมิเนียม
3. แวนชยาย
4. ปากคีบ (forceps)
5. จานสี

วิธีเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ

1. เลือกสถานที่เก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างตามจุดที่กำหนด ได้แก่ แหล่งน้ำบริเวณที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งน้ำพื้นที่เกษตรกรรม (สวนผัก สวนผลไม้ และนาข้าว)
2. การกำหนดตัวอย่างและซ้ำที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินและแมลงน้ำโดยทั่วไปมักจะเก็บซ้ำ ทั้งหมด 3 – 5 ซ้ำ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง
3. กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่าง โดยแต่ละจุดเก็บในพื้นที่ 1 × 1 เมตร
4. วิธีการเก็บตัวอย่าง จะใช้ 2 วิธีร่วมกันคือ
 - 4.1 ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างเชิงปริมาณ เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาความหลากหลายชนิด โดยวิธีการนี้ใช้สวิง (pond net) เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างโดยช้อนตักหาแมลงทั้งผิวน้ำกลางน้ำและท้องน้ำ
 - 4.2 วิธี Kick sampling โดยการเดินถอยหลัง ใช้สวิงลากตามพื้นท้องน้ำ ระหว่างเดินจะใช้เท้าเขี่ยบริเวณพื้นน้ำให้แมลงออกจากที่ซ่อน (วิธีนี้ใช้สำหรับแหล่งน้ำที่มีระดับน้ำสูงไม่เกินหัวเข่าของผู้เก็บตัวอย่างเท่านั้น) ขณะเก็บตัวอย่างต้องทำการจับเวลาด้วย เพื่อเป็นมาตรฐานการเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานี
5. เวลาที่เก็บตัวอย่างควรเก็บในช่วงเช้า 8.00 – 10.00 เพราะแมลงน้ำส่วนใหญ่จะออกจากที่ซ่อนเพื่อหาอาหาร
6. ความปลอดภัยในการเก็บตัวอย่าง
 - 6.1 จุดเก็บตัวอย่าง ควรเป็นที่โล่ง ไม่ควรเลือกบริเวณ พงหญ้า
 - 6.2 ควรมีความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถานที่ที่จะทำการเก็บ เช่น ความลึก ความชันของตลิ่ง และสิ่งที่อยู่ในแหล่งน้ำ โดยสอบถามจากเจ้าของสถานที่
 - 6.3 ไม่ควรเก็บตัวอย่างคนเดียว เพราะหากมีอันตรายเพื่อนจะได้ช่วยได้ทัน
 - 6.4 ไม่ควรดื่มน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่างเพราะอาจมีสารเคมีเจือปน
 - 6.5 ไม่ควรเก็บตัวอย่างในตำแหน่งน้ำที่ระดับสูงกว่าเหนือเข่า

บทที่ 4

แมลงน้ำที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

แมลงน้ำ หมายถึง แมลงที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหรือมีวงจรชีวิตส่วนใหญ่อาศัยในแหล่งน้ำ บริเวณใกล้แหล่งน้ำหรือพื้นที่ชื้นแฉะที่มีความชื้นสูง พบได้ตามแหล่งน้ำทั่วไป ทั้งตามธรรมชาติ เช่น ห้วย หนอง คลอง บึง หรือแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำจืดและน้ำกร่อย พบได้น้อยในน้ำเค็ม แมลงน้ำมีความสำคัญในการหมุนเวียนพลังงานในแหล่งน้ำตามระบบห่วงโซ่อาหาร อีกทั้งยังช่วยในกระบวนการฟื้นฟูสภาพของน้ำ โดยจัดเป็นผู้กำจัดเศษซากพืชซากสัตว์ที่สะสมในน้ำ ทำให้น้ำไม่เน่าเสีย (Watanasit. 1996)

เริ่มแรกบรรพบุรุษของแมลงน้ำหลายกลุ่มอาศัยในแหล่งน้ำไหล ต่อมาแมลงน้ำบางกลุ่มได้แพร่ขยายเข้ามาครอบครองแหล่งน้ำนิ่ง แมลงสโตนฟลาย แมลงช้างกรามโต (อันดับ Megaloptera) และแมลงสองปีก (อันดับ Diptera) หลายวงศ์อาศัยในแหล่งน้ำไหลตลอดประวัติวิวัฒนาการ แมลงน้ำกลุ่มอื่นๆ เช่น แมลงหนอนปลอกน้ำ (อันดับ Trichoptera) และริ้นน้ำจืด (อันดับ Diptera) มีวิวัฒนาการระยะต้นในแหล่งน้ำไหล แต่ต่อมาได้ปรับตัวให้สามารถอาศัยในแหล่งอาศัยหลากหลายแบบได้ สำหรับแมลงปอและแมลงชีปะขาวยังไม่ทราบแหล่งอาศัยเริ่มแรกแน่ชัด แต่ฟอสซิลของตัวอ่อนแมลงชีปะขาว *Kamericana* มีเหงือกที่แตกแขนง จึงทำให้เข้าใจว่าแมลงชนิดนี้น่าจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำไหลที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วน มวน ตัวง และแมลงสองปีกบางกลุ่มมีความสัมพันธ์กับแหล่งน้ำนิ่งมากกว่าแมลงกลุ่มอื่นๆ

การจัดจำแนกแมลงน้ำ

แมลงน้ำมี 13 อันดับ การจัดจำแนกแมลงน้ำเป็นดังนี้ คือ

1. Phylum Arthropoda (ไฟลัมอาร์โทโปดา)
2. Class Insecta (คลาสอินเซกตา)
3. Subclass Apteriygota (คลาสย่อย อะเทอริโกตา – พวกไม่มีปีก)
4. Order Collembola (อันดับ คอลเลมโบลา – แมลงหางดีด)
5. Subclass Pterygota (คลาสย่อย เทอริโกตา – พวกมีปีก)
6. Infraclass Palaeoptera (อินฟราคลาส พาเลออปเทรา – แมลงมีปีกยุคโบราณ)
7. Order Ephemeroptera (อันดับ อีฟิเมอโรปเทรา – แมลงชีปะขาว)
8. Order Odonata (อันดับ โอโดนาตา - แมลงปอ)
9. Infraclass Neoptera (อินฟราคลาส นีโอปเทรา - แมลงมีปีกยุคใหม่)
10. Division Exopterygota (ดิวิชัน เอกโซเทอริโกตา – แมลงมีปีกเจริญภายนอกตัว)
11. Order Plecoptera (อันดับ พลีคอปเทรา – แมลงสโตนฟลาย)
12. Order Orthoptera (อันดับ ออธอปเทรา – ตั๊กแตน แมลงกะซอน จิ้งหรีด)
13. Order Hemiptera (อันดับ เฮมิปเทรา – มวน)
14. Division Endopterygota (ดิวิชัน เอนโดเทอริโกตา – แมลงมีปีกเจริญภายในตัว)

15. Order Megaloptera (อันดับ เมกะลอปเทรา – แมลงข้างกรามโต)
16. Order Neuroptera (อันดับ นิวรอปเทรา – แมลงข้างปีกใส)
17. Order Coleoptera (อันดับ โคลีออปเทรา – ตัว)
18. Order Diptera (อันดับ ดิปเทรา – แมลงสองปีก)
19. Order Lepidoptera (อันดับ เลปิโดพเทรา – ผีเสื้อ มอท)
20. Order Trichoptera (อันดับ ไทรคอปเทรา – แมลงหนอนปลอกน้ำ)
21. Order Hymenoptera (อันดับ ไฮเมนอปเทรา – แตน)

วงจรชีวิต : วงจรชีวิตเริ่มจากไข่ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแต่ละระยะในวงจรชีวิต (metamorphosis) แมลงน้ำบางชนิด เช่น หนอนปลอกน้ำ (caddisflies) วงจรชีวิตมี 4 ระยะ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสมบูรณ์ (complete metamorphosis) ส่วนชีปะขาว (mayflies) และแมลงเกาะหิน (stoneflies) วงจรชีวิตมี 3 ระยะ เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete metamorphosis) โดยในแต่ละระยะ มีรูปร่างลักษณะและหน้าที่แตกต่างกัน

ลักษณะสัณฐานวิทยา : อวัยวะบางส่วนคล้ายกับแมลงที่อยู่บนบก (terrestrial insects) ร่างกาย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน (หัว อก และท้อง) มีขา 3 คู่ และมีหนวดรูปร่างแบบต่างๆ ตัวอ่อนบางชนิด โครงสร้าง มีลักษณะเฉพาะ เช่น มีเหงือก หาง เล็บ และส่วนของปาก ที่เปลี่ยนแปลงไป โครงสร้างเหล่านี้ช่วยให้สามารถจำแนกกลุ่มของแมลงน้ำได้ เช่น ตัวอ่อนแมลงเกาะหินมีแพนหาง (cerci) 2 เส้น และมีเล็บ (claw) 2 อันที่ขาแต่ละข้าง ในขณะที่ชีปะขาวมีแพนหาง 2 หรือ 3 เส้น และมีเล็บ 1 อัน ที่ขาแต่ละข้าง

ถิ่นอาศัย : อาศัยในบริเวณที่น้ำไหล พื้นใต้ล่างเป็นก้อนหิน หลายชนิดพบบริเวณแก่งที่มีน้ำไหลเร็วและใส โดยจะเกาะที่ก้อนหิน ในแหล่งน้ำไหลรูปร่างมักมีลักษณะแบนราบเพื่อป้องกันการถูกพัดพา ไปกับกระแสน้ำ ในบริเวณแหล่งน้ำที่กระแสน้ำไหลช้า หลายชนิดมีการปรับตัวโดยการฝังตัวอยู่ในตะกอนดิน หรือสร้างปลอกหุ้มห่อลำตัว ที่มีลักษณะเป็นรังช่วยในการป้องกันศัตรู ในการอาศัยอยู่ในน้ำ แมลงน้ำจำเป็นต้องอาศัยออกซิเจนที่อยู่ในน้ำ โดยการหายใจทางเหงือก

ความสัมพันธ์ของแมลงน้ำกับแหล่งน้ำ

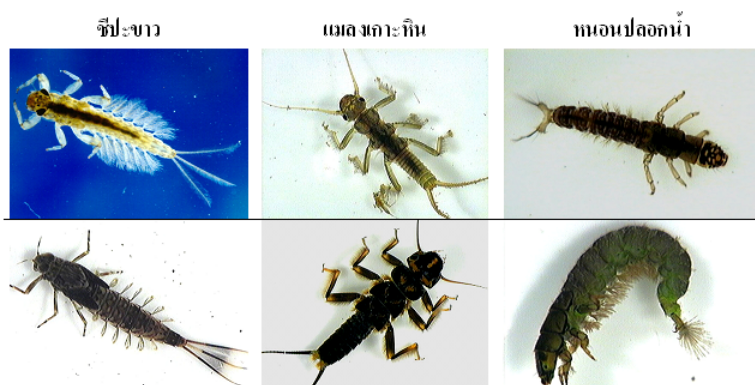
นักวิทยาศาสตร์ มักใช้ประโยชน์จากแมลงน้ำในการเรียนรู้เกี่ยวกับแม่น้ำและกระแสน้ำ โดยใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำ ด้วยเหตุผลหลายประการ ดังนี้

1. ง่ายต่อการเก็บมาศึกษาวิจัย
2. มีจำนวนมาก และมีการตอบสนองที่ดี แมลงน้ำบางชนิดไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เมื่อแหล่งน้ำมีสภาพเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำ
3. มีจำนวนมากพอ แม้ในพื้นที่ขนาดเล็กที่เป็นแหล่งอาศัยของแมลงน้ำได้ การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ และการแบ่งกลุ่มที่ชัดเจนตามลักษณะการกินอาหารของแมลงน้ำ สามารถบอกถึงบทบาทหน้าที่ในแหล่งน้ำที่เป็นที่อยู่อาศัยได้ เช่น ตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณที่เป็นพื้นที่ทรายใต้ลำธาร ซึ่งจะเต็มไปด้วยกลุ่มของแมลงพวกกินอินทรีย์วัตถุ ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวสามารถชี้ให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณนั้นเป็นแหล่งรวมของเศษซากอินทรีย์วัตถุ และตะกอน ความหลากหลายของแมลงน้ำ ใน

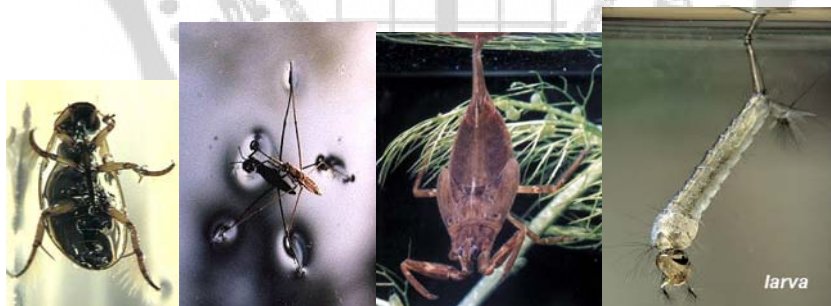
ตัวอย่างที่เก็บมา จะช่วยบอกให้นักชีววิทยาทางน้ำได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับระบบนิเวศบริเวณนั้น ในด้านประชากรของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ปลา นก และสัตว์ป่าชนิดอื่นๆ

ตัวอย่างแมลงน้ำที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางน้ำ

1. พวกที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด เป็นพวกที่มีเหงือก แมลงพวกนี้ในระยะตัวอ่อนหายใจด้วยเหงือก จึงต้องใช้ออกซิเจนในน้ำโดยตรง



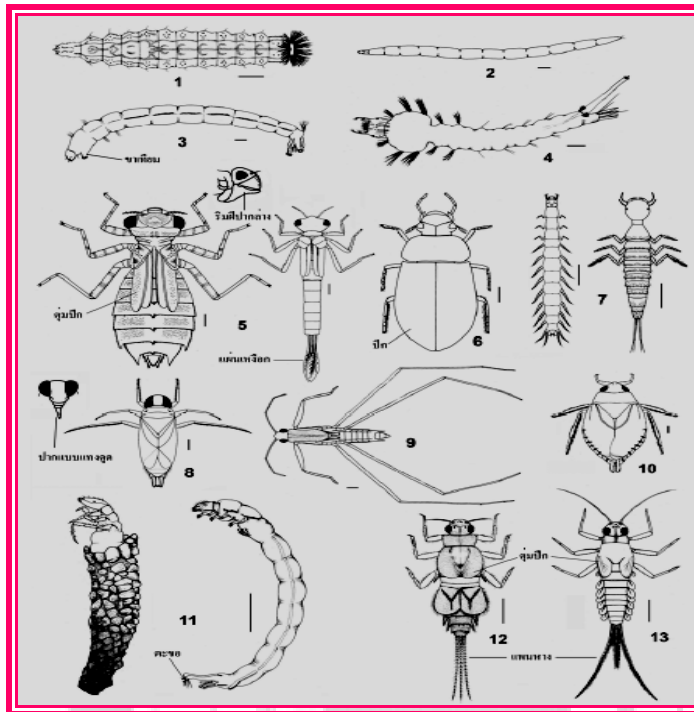
2. พวกที่ได้รับผลกระทบรองลงมา เป็นพวกที่สามารถใช้ออกซิเจนจากอากาศหรือเก็บกักอากาศไว้กับตัว แมลงพวกนี้หายใจโดยใช้ออกซิเจนในอากาศได้โดยตรง



3. พวกที่ได้รับผลกระทบน้อยที่สุด เป็นพวกที่มีความสามารถในการจับออกซิเจนในน้ำ ดังนั้น จึงสามารถทนอยู่ได้ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำมาก



ตัวอย่างแมลงในอันดับต่าง ๆ



รูปที่ 1 – 4 อันดับ Diptera

รูปที่ 5 อันดับ Odonata

รูปที่ 6 – 7 อันดับ Coleoptera

รูปที่ 8 – 10 อันดับ Hemiptera

รูปที่ 11 อันดับ Trichoptera

รูปที่ 12 – 13 อันดับ Ephemeroptera

ภาพแสดงแหล่งที่อยู่อาศัยของแมลงน้ำ



แมลงน้ำที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ



แมลงอันดับ : Hemiptera

ชื่ออังกฤษ : Water Bugs

ชื่อไทย : มวนน้ำ

ลักษณะเด่น :

- รูปร่างหลากหลาย
- ปีกมีพัฒนาการเต็มที่เมื่อหุบจะซ้อนทับเคียงกัน
- มีขา 6 ขา
- หลายชนิดวิ่งหากินบนผิวน้ำ
- นวล น้ำตาล เทา เขียว ส้ม

ที่อยู่อาศัยและการหากิน :

มวนน้ำส่วนใหญ่ล่าสัตว์อื่นกิน โดยใช้ปากแหลมเหมือนเข็มฉีดยาดูดกินของเหลวในร่างเหยื่อ บางชนิดดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืช

การหายใจ :

มวนน้ำมีขนขนาดเล็กอยู่ตามร่างกาย โดยเฉพาะใต้ท้องหรือก้น สามารถเก็บฟองอากาศจากผิวน้ำลงไปใช้ได้ น้ำได้ โดยมันจะเปิดรูหายใจบนตัวเพื่อหายใจจากฟองอากาศนี้โดยตรง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี :

อุณหภูมิ : 28 – 31 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่าง : 6.8 - 7.7

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 4 – 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

จิงโจ้น้ำ



วงศ์ : Gerridae คะแนน : 5

ลักษณะเด่น : วิ่งหากินบนผิวน้ำ ช่วงห่างระหว่างขาคู่หน้ากับขาคู่กลางห่างกันมาก ในขณะที่ขาคู่กลางและคู่หลังอยู่ติด ๆ กัน ไม่มีหาง รูปตัวอาจยาวเรียว

มวนแมงป่องน้ำ



วงศ์ : Nepidae คะแนน : 5

ลักษณะเด่น : มีหางเป็นหลอดตรงยาว 1 หาง ตัวอ้วนรีค่อนข้างแบน ขาคู่หน้าคล้ายมีก้าม ใช้จับเหยื่อในน้ำ ปลายหางใช้จิ้มผิวน้ำเพื่อเอาอากาศ

มวนแมงป่องเข็ม



วงศ์ : Nepidae คะแนน : 5

ลักษณะเด่น : ตัวผอมยาวแก้ง้างคล้ายกิ่งไม้ มีหางเป็นหลอดตรงยาว 1 หาง ขาคู่หน้าอยู่ติดกับปากและแปรรูปจนดูคล้ายกราม ใช้จับเหยื่อ ดูเผินๆ เหมือน มี 4 ขา

มวนกรรเชียง/มวนวน



วงศ์ : Notonectidae/Corixidae คะแนน : 5

ลักษณะเด่น : ขาหลังมีขนเป็นแผงใช้ว่ายน้ำ หลายชนิดมีลวดลายสีส้มสวยงามมวนวนกับมวนกรรเชียงต่างกันตรงที่มวนกรรเชียงจะหงายท้องว่ายน้ำ กันมีกระจุกขนคล้ายพู่กัน ส่วนมวนวนมีขาคู่หน้าหดสั้น และมีขนาดเล็กกว่ามวนกรรเชียง



แมลงอันดับ : Ephemeroptera

ชื่ออังกฤษ : Mayfly Nymphs

ชื่อไทย : ตัวอ่อนชีปะขาว

ลักษณะเด่น :

■ ส่วนมากมีหางยาว 3 หาง บางครั้ง 2 หาง เรียวบางเป็นเส้นหรือแตกเป็นแขนงคล้ายขนนก

■ ส่วนมากมีเหงือกเรียงเป็นแถวข้างลำตัว

■ บางประเภทมีกะบังเหงือกกระพือได้บริเวณ "ตะโพก"

■ ตาโต

■ สนิวล น้ำตาลอ่อน-เข้ม

ที่อยู่อาศัยและการหากิน :

อาศัยอยู่ตามพื้นใต้น้ำ บางประเภทขุดรูอยู่ในพื้นทราย แต่ส่วนมากชอบเกาะหินอยู่ตามก้อนหินหรือพืชใต้น้ำพวกมันจึงมีขาแข็งแรงสามารถคลานไปมาและเกาะหินได้มัน มักจะเลี้ยงแรงปะทะจากกระแสน้ำโดยเกาะหลบอยู่ใต้ก้อนหิน กินสาหร่าย ตะไคร่น้ำตามก้อนหิน และซากพืชซากสัตว์ชิ้นเล็กๆ บางชนิดล่าสัตว์อื่นกิน

การหายใจ :

ดูดซึมอากาศในน้ำผ่านผิวหนังและเหงือกข้างลำตัว ตัวอ่อนส่วนมากพบในน้ำสะอาดมาก มีออกซิเจนสูง มีเพียงบางประเภทที่ทนออกซิเจนต่ำและมลภาวะได้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

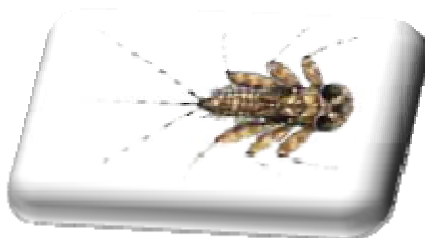
อุณหภูมิ : 27 – 31 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด – ด่าง : 7.2 – 8.7

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 6.5 – 8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอ่อนซีปะขาวตัวแบน



วงศ์ : Heptageniidae

คะแนน : 10

ลักษณะเด่น ตัวแบน หัวแบนมนกว้างเหมือนไค้พระจันทร์ คล้ายสามหมวกกันน็อก บางชนิดมี 2 หาง มักพบในลำน้ำไหลเร็ว ลักษณะรูปร่างปรับตัวเพื่อลดแรงต้านจากกระแสน้ำแรงได้ดีเป็นพิเศษ ขาเกาะหินได้ดีมาก บางชนิดมีเหงือกคู่แรกแปรรูปเป็นแผ่นจานใต้ท้องใช้ยึดหิน

ตัวอ่อนซีปะขาวเหงือกแฉก

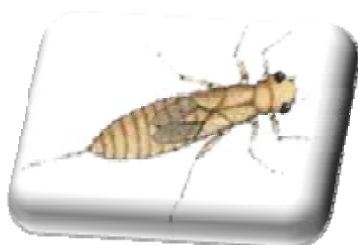


วงศ์ : Leptophlebiidae

คะแนน : 10

ลักษณะเด่น แผ่นเหงือกแตกเป็นแฉก โดยอาจมีรูปแฉกต่างๆ กัน บางครั้งคล้ายเส้นผมแตกปลาย รูปทรงลำตัวมักยาวรี แต่หลายชนิดตัวแบนหัวใหญ่ ดูคล้ายตัวอ่อนซีปะขาวตัวแบน แต่หัวออกเหลี่ยมมน ไม่เป็นไค้พระจันทร์

ตัวอ่อนซีปะขาวเหงือกบนหลัง

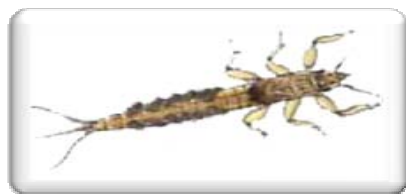


วงศ์ : Ephemerellidae

คะแนน : 7

ลักษณะเด่น แผ่นเหงือกตั้งอยู่บนหลังลำตัวส่วนท้องแทนที่จะงอกออกทางข้างตัว เช่น ชีปะขาวอื่นๆ ไม่มีเหงือกบนปล้องลำตัวส่วนท้องสองปล้องแรก แผ่นเหงือกโดยมากเรียงเป็นแถวยาว แต่บางชนิดมีแผ่นเหงือกซ้อนกันเป็นกระจุก

ตัวอ่อนชีปะขาวขุดรู

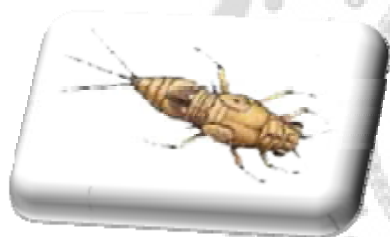


วงศ์ : Ephemeridae

คะแนน : 6

ลักษณะเด่น เหงือกแลคล้ายขนอ่อนของนกปัดขึ้นไป พาดปลีบนหลัง เส้นหางแตกเป็นขนนกอ่อนพริ้ว ปลายหัวมี "เข่า" คู่หนึ่งขุดรูอาศัยในพื้นทราย และกระพือเหงือก เพื่อสร้างกระแสน้ำในรู ทำให้ออกซิเจนถ่ายเทได้สะดวก ช่วยพัดเอาเศษอาหารเข้ามา และรักษารูไม่ให้อุดตัน

ตัวอ่อนชีปะขาวเหงือกกระโปรง



วงศ์ : Caenidae

คะแนน : 4

ลักษณะเด่น เหงือกไม่เรียงเป็นแถวข้างลำตัว แต่ซ้อนอยู่ใต้กะบังใต้เอว มีลักษณะเป็นแผ่นวางซ้อนเหลื่อมกันสองแผ่นคลุมบริเวณ "ตะโพก" ดูลคล้ายสวมกระโปรงทนมลภาวะได้บ้าง พบได้

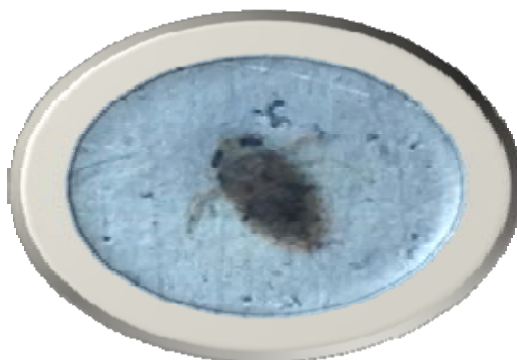
ตัวอ่อนชีปะขาวว่ายน้ำ



วงศ์ : Caenidae

คะแนน : 7

ลักษณะเด่น รูปร่างยาวเรียวคล้ายตอร์ปิโด หัวเล็กมนเหมือนปลายลูกปัด เหงือกเป็นรูปใบพาย ไม่แตกเป็นแฉกหรือเป็นขนนก และปีกจะไม่ซ้อนกัน ว่ายน้ำเก่งและเร็วมาก หางมักจะมีเส้นแตกเป็นแฉกคล้ายขนนก รูปใบพาย บางชนิดมีหางกลางสั้นมากจนดูเหมือนมีหางเพียงสองหาง ชอบเกาะอยู่ตามดงพีชใต้น้ำ



แมลงอันดับ : Coleoptera

ชื่ออังกฤษ : Water Beetles

ชื่อไทย : ตัวน้ำ

ลักษณะเด่น :

- เกราะปีกแข็ง 2 ด้าน
- เมื่อหุบปีก เกราะปีกบรรจบกันพอดีกลางลำตัว
- ขา 6 ขา
- บางชนิดวิ่งหากินบนผิวน้ำ
- สีสัน น้ำตาลอ่อน เทา เขียว

ที่อยู่อาศัยและการหากิน : อาศัยอยู่ตามพื้นใต้น้ำ ลำตัวเล็กกินเป็นอาหาร

การหายใจ : ทางพองอากาศเช่นเดียวกับมวนน้ำ สามารถเก็บพองอากาศใต้น้ำได้ดี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

อุณหภูมิ : 28 – 31 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่าง : 7.2 – 8.8

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 4 – 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

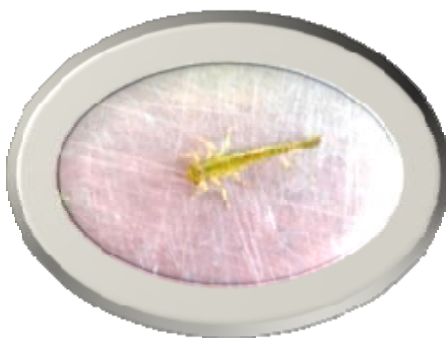
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



ตัวเต็ม

วงศ์ : Dytiscidae คะแนน : 5

ลักษณะเด่น ตัวป้อมรี ขาคู่หลังมีแผงขนช่วยว่ายน้ำ
 หนวดยาวเรียวบาง ดำน้ำเก่ง เมื่อต้องการ
 เต็มอากาศจะใช้น้ำจุ่มผิวน้ำให้แตกและกางปีก
 ออกจับพองอากาศไปเก็บไว้ใต้ปีก



แมลงอันดับ : Odonata

ชื่ออังกฤษ : Damselfly Nymphs

ชื่อไทย : ตัวอ่อนแมลงปอเข้

ลักษณะเด่น :

- ลำตัวส่วนท้องด้านบนเห็นเป็นปล้องๆ
- รูปร่างยาวรีหรือตัวป้อมสั้นก็ได้
- ขา 6 ขา ยาวแข็งแรง
- ส่วนมากหางสั้นกุดเป็นเดือยหยักๆ
- บางชนิดมีหางยาว 1 หาง
- สีนวล น้ำตาล เขียว ส้ม

ที่อยู่อาศัยและการหากิน :

เป็นนักล่าตัวนกจก มีกรามล่างแข็งแรงพับเก็บไว้ใต้คางสามารถตัวดกออกไปจับเหยื่อได้อย่างแม่นยำ กินสัตว์หลากหลายชนิด รวมทั้งปลาตัวโตเกือบเท่าตัวเอง

อาศัยอยู่ทั่วไปตามลำน้ำ โดยมากชอบอยู่ตามพื้นที่ตื้นน้ำนิ่งๆ หรือตามตมพืชใต้น้ำ

การหายใจ :

ดูดซึมอากาศในน้ำผ่านผิวหนังบางๆ และหางซึ่งทำหน้าที่เป็นเหงือกเสริม นอกเหนือจากเหงือกในลำตัวส่วนใหญ่อาศัยในน้ำสะอาด ทนมลภาวะได้บ้าง แต่บางชนิดทนได้ค่อนข้างดี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

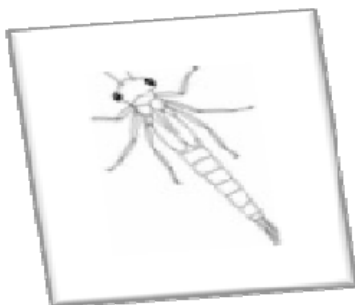
อุณหภูมิ : 28 – 31 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่าง : 7.2 – 8.5

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 5 – 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอ่อนแมลงปอเข้มธรรมดา

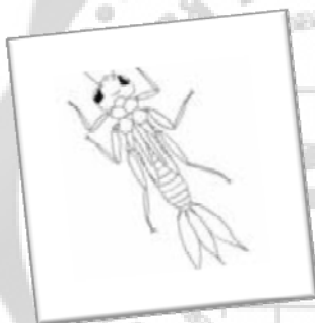


วงศ์ : Platycnemidae

คะแนน : 6

ลักษณะเด่น : หาง 3 หาง แขนเป็นใบพาย เวลาเกาะนิ่ง ๆ มักหุบหางสลับเข้าด้วยกัน ทำให้ดูคล้ายมีหางเดียว

ตัวอ่อนแมลงปอเข้มหางโป่ง

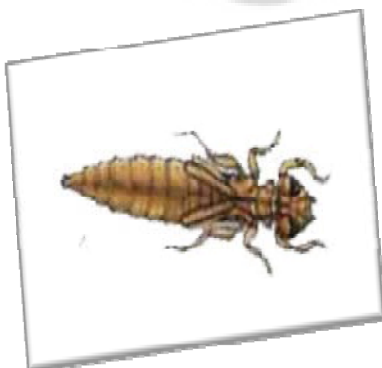


วงศ์ : Euphaeidae

คะแนน : 6

ลักษณะเด่น : หาง 3 หาง พองเป็นลูกโป่งทรงรี มีแก้มหรืออกซึ่งเรียงเป็นแถวและพับเก็บได้ข้างลำตัว

ตัวอ่อนแมลงปอธรรมดา



วงศ์ : Libellulidae

คะแนน : 6

ลักษณะเด่น : ตัวรี หางสั้น กุดเป็นเดือยหัก



ชื่อไทย : หนอนร้นน้ำจืดแดง

ชื่ออังกฤษ : Red Non-biting Midge Larvae

แมลงอันดับ : Diptera

วงศ์ : Chironomidae คะแนน : 2

ลักษณะเด่น :

- สีแดงทั้งตัว
- ไม่มีขา มีข้อพับที่งอได้
- มีเปลือกแข็งหุ้มหัว
- ปล้องลำตัวน้อยกว่า 15 ปล้อง
- ตั้งขาปลอมคล้ายตุ่มเนื้อที่ปลายหัวและหาง

ที่อยู่อาศัยและการหากิน :

มักอยู่ตามโคลนตม กินซากพืชซากสัตว์ และสาหร่ายเป็นอาหาร

การหายใจ :

ดูดซึมอากาศผ่านผิวหนังและเหงือก พวกตัวสีแดงมีสารคล้ายฮีโมโกลบินในเลือดเรา ซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บออกซิเจน ทำให้มันอยู่ในน้ำสกปรกที่มีออกซิเจนน้อยได้ดี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

อุณหภูมิ : 28 – 30 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่าง : 6.8 - 7.2

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 3 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



ชื่อไทย : ลูกน้ำ

ชื่ออังกฤษ :

แมลงอันดับ : Diptera

วงศ์ : Culicidae

คะแนน : 5

ลักษณะเด่น :

■ โดยมีส่วนอกกว้างใหญ่กว่าส่วนหัวและส่วนท้อง เมื่อออกมาจากไข่ใหม่ ๆ จะมีขนาดเล็กมาก และค่อย ๆ โตขึ้น มีการลอกคราบ 4 ครั้ง ก่อนที่จะเป็นตัวโม่งลูกน้ำต้องอาศัยอยู่ในน้ำตลอดระยะที่ดำรงชีวิตมีบางชนิดที่ปรับสภาพพัฒนาตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่นสามารถอยู่ได้ในสภาพที่เป็นโคลนเปียก หรือในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสูง

ที่อยู่อาศัยและการหากิน :

ในน้ำนิ่ง

การหายใจ :

จะขึ้นมารับอากาศบนผิวน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

อุณหภูมิ : 27 – 29 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่าง : 7.1 – 8.7

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ : 4 – 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน : 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 5

วิธีการประเมินผลคุณภาพน้ำโดยใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้

คู่มือเล่มนี้ ใช้วิธีการประเมินคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยใช้แมลงน้ำร่วมกับ Biomonitoring Working Party score (BMWPscore) คือ ค่าคะแนนที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับคุณภาพน้ำ ที่นักนิเวศวิทยานำจิตกำหนดให้แก่สัตว์หน้าดินแต่ละชนิดหรือแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีความทนทานต่อสภาพมลพิษหรือปริมาณออกซิเจนในน้ำแตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. กลุ่มที่ทนทานต่อสภาพมลพิษ หรือทนทานต่อสภาพมลพิษน้อย แต่มีความต้องการออกซิเจนสูงมีคะแนนในช่วง 10 – 7 คะแนน โดยไล่มาตามลำดับจากที่มีความทนทานต่ำจนถึงที่มีความทนทานสูง
2. กลุ่มที่มีความทนทานต่อสภาพมลพิษปานกลาง และต้องการออกซิเจนไม่มากเท่ากลุ่มแรก จะมีคะแนนในช่วง 6 – 5 คะแนน
3. กลุ่มที่มีความทนทานต่อสภาพมลพิษค่อนข้างมาก และมีความต้องการออกซิเจนน้อย จะมีคะแนนอยู่ในช่วง 4 – 3 คะแนน
4. กลุ่มที่มีความทนทานต่อสภาพมลพิษและต้องการออกซิเจนน้อยมาก จะมีคะแนนอยู่ในช่วง 2 – 1 คะแนน

กลุ่มที่มีคะแนนมากจะมีอัตราการเผผลลายสูง ใช้ระบบหายใจทางเหงือก ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจสูง ส่วนกลุ่มที่มีคะแนนน้อยจะหายใจผ่านผิวหนังเป็นกลุ่มที่ต้องการออกซิเจนต่ำหรือเกือบไม่ใช้ออกซิเจนเลย

วิธีการใช้ BMWP (Biomonitoring Working Party) Score (จากรายงานผลการวิจัยสัตว์หน้าดินในลุ่มน้ำปิง ของ สตีฟ มัสโทว; และ กชกร แสนนาม. 2540; Mustow. 2002)

1. นำสัตว์หน้าดินชนิดต่าง ๆ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งวินิจฉัยเรียบร้อยแล้ว มาให้คะแนนตาม BMWP Score
2. เอาคะแนนของสัตว์แต่ละชนิดมารวมกัน
3. นับจำนวนชนิดของสัตว์ที่พบและสามารถให้คะแนนได้
4. นำค่าที่ได้ในข้อ 3. มาหารคะแนนรวมของสัตว์ในข้อ 2.
5. ค่าที่ได้ในข้อ 4. จัดเป็นคะแนนเฉลี่ย (average score per taxa = ASPT)

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าตัวอย่างมี Oligocheata, Chironomidae, Sialidae และ Baetidae

ขั้นตอนในการคำนวณหาค่า มีดังนี้

1. ให้คะแนนแต่ละวงศ์โดยเทียบค่าจากตาราง 1

ดังนั้น ค่า BMWP score ที่คำนวณได้ คือ $1 + 2 + 4 + 4 = 11$

2. คำนวณหาจำนวนรวมของวงศ์ที่พบทั้งหมดในตัวอย่าง

ดังนั้น จำนวนรวมของวงศ์ คือ 4

3. หาค่า BMWP score ด้วยจำนวนรวมของวงศ์ก็จะได้ค่า ASPT ดังนั้น ค่า ASPT ที่คำนวณได้ คือ $11/4 = 2.75$

4. จากการคำนวณ ได้ค่า BMWP score คือ 11 และ ASPT คือ 2.75

ดังนั้นสรุปได้ว่า น้ำมีคุณภาพต่ำมาก

คะแนนเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537) ซึ่งสามารถนำคะแนนเฉลี่ย และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและคุณภาพน้ำทั่วไปมาเปรียบเทียบกันได้ตามตาราง 1

ตาราง 1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย (ASPT) จากการศึกษาสัตว์หน้าดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน คุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนนเฉลี่ย (ASPT)	*มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	คุณภาพน้ำทั่วไป
1 – 2 จัดอยู่ใน	ระดับ 1	น้ำสกปรก
3 – 4 จัดอยู่ใน	ระดับ 2	น้ำค่อนข้างสกปรก
5 -6 จัดอยู่ใน	ระดับ 3	น้ำมีคุณภาพปานกลาง
7 – 8 จัดอยู่ใน	ระดับ 4	น้ำมีคุณภาพค่อนข้างดี
9 – 10 จัดอยู่ใน	ระดับ 5	น้ำมีคุณภาพดีจัดเป็นน้ำสะอาด

ที่มา: หน่วยวิจัยนิเวศวิทยาแมลงน้ำในแหล่งน้ำไหล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2537). ความหมายของคุณภาพน้ำตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

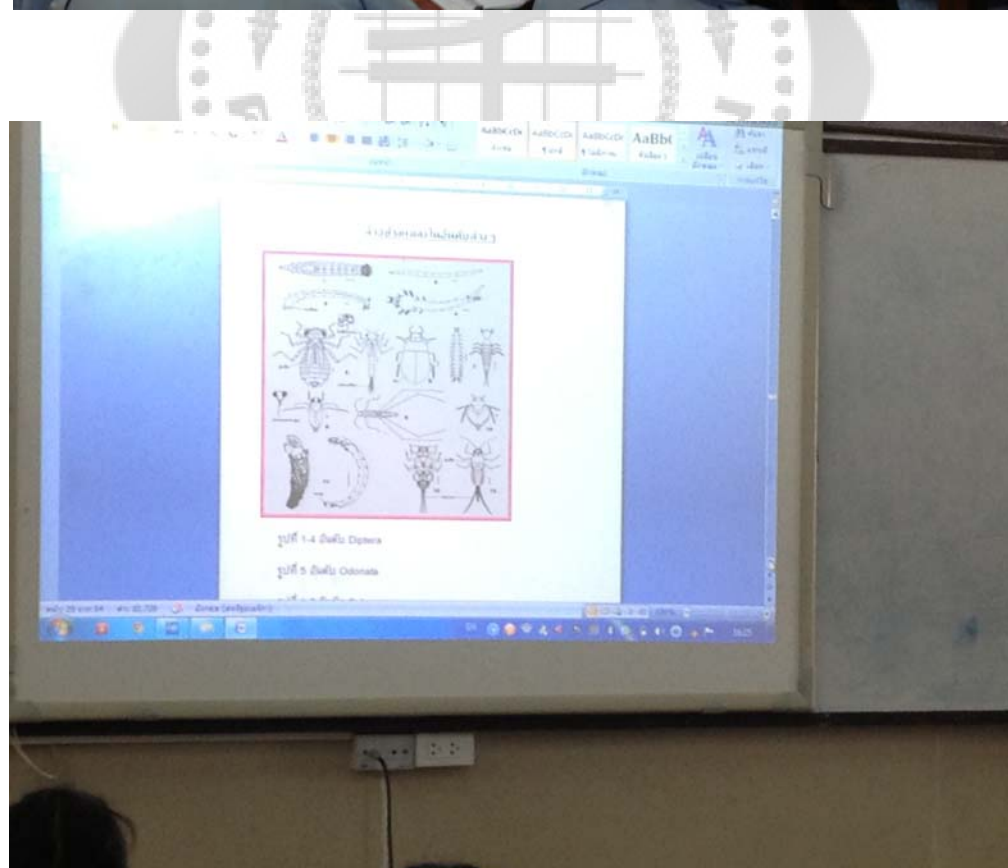
บรรณานุกรม

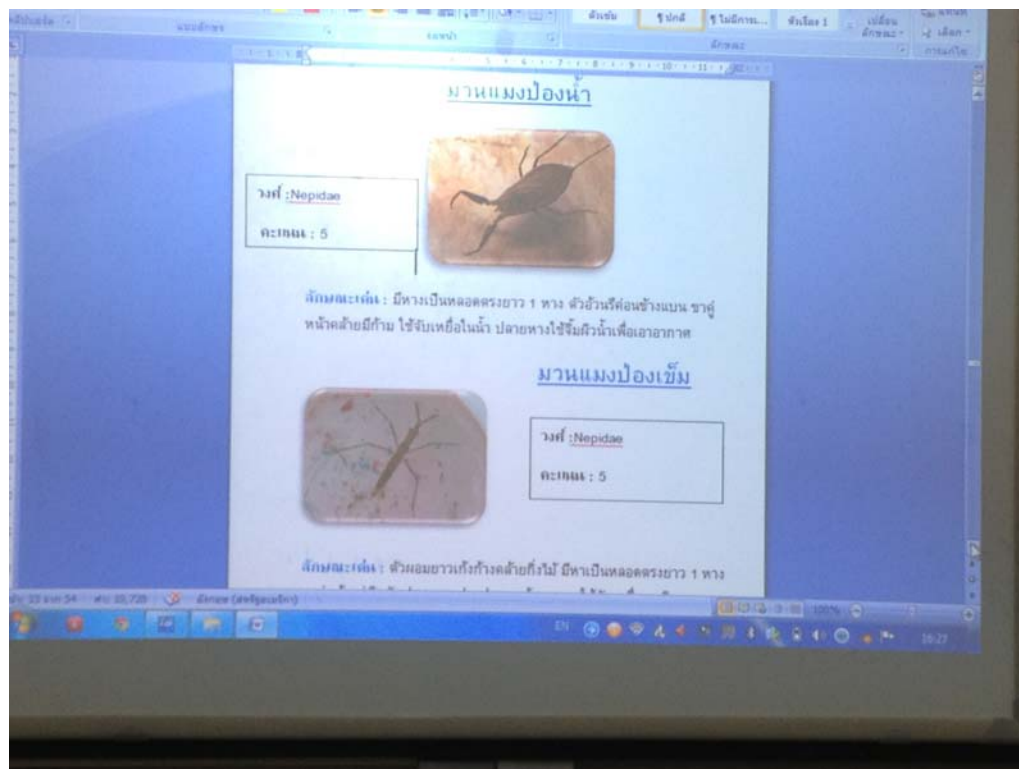
- นฤมล แสงประดับ และคณะ. (2541). *ดัชนีชีวภาพ สำหรับการจัดจำแนกคุณภาพน้ำทางชีววิทยา ในลุ่มน้ำองด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน*. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นฤมล แสงประดับ; และ วิโรจน์ หนักแน่น. (2541). การศึกษาเบื้องต้นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ในลำห้วยหญ้าเครือและลำห้วยพรมแล้ง. *วารสารวิจัย มข.* 3(1): 1 – 5.
- นฤมล แสงประดับ. (2548). *เอกสารคำสอนวิชาแมลงน้ำ*. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มันสิน ตันทุกลูเวศม์. (2538). *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุพเรศ วังยาฉิม. (2540). *การพัฒนาคู่มือศึกษาระบบชาติประจำเส้นทางเดินป่าในอุทยานแห่งชาติ* *เขาใหญ่*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อมศึกษา. นครปฐม: บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ศิริณี พูนไชยศรี. (2538). *แมลงและการจำแนก. เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรม หลักสูตรการอารักขาพืช กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร เมื่อ 19 – 29 มิถุนายน 2538 ณ กรมวิชาการเกษตร*. กรุงเทพฯ. 32 หน้า.
- Cairns J. (1982). Freshwater Protozoan Communities. In: *Microbial Interaction and Communities*. Bull, A.T.; & Watkinson, A.R.K. (Eds.). 1: 249 – 285. London: Academic Press.
- Cairns, J.; & Pratt. (1993). A History of Biological Monitoring Using Benthic Macroinvertebrates. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Rosenberg, D.M.; & Resh, V.H. pp. 10 – 27. New York: Chappman & Hall.
- Hallawell, J.M. (1989). *Biological Indicator of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science.
- Mustow, S.E. (1997). *Aquatic Macroinvertebrates and Environmental Quality of River in Northern Thailand*. Ph.D.Thesisi. London: University of London.
- Nation Water Council. (1981). *River Quality : the 1980 Survey and Future Outlook*. London: National Water Council.





นักเรียน ศึกษาคู่มือฯ ในชั้นเรียน





นักเรียนทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ



นักเรียนทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ (ต่อ)



นักเรียนทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ (ต่อ)



นักเรียนทำกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ (ต่อ)





ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวีรยุทธ วัชรพงษ์
วันเดือนปีเกิด	30 มีนาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	53 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าทองกลาง อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา 24110
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครูผู้สอน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเซนต์หลุยส์ฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2530	ประถมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนดาราจรัส จังหวัดฉะเชิงเทรา
พ.ศ. 2543	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนบางคล้าพิทยาคม
พ.ศ. 2547	วท.บ. (ประมง) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (จันทบุรี)
พ.ศ. 2557	กศ.ม. การมัธยมศึกษา (การสอนสิ่งแวดลอม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ