



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี (Greenberg, 2005)

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธี Azide Modification of Iodometric Method

- 1.1 ล้างขวด BOD ด้วยน้ำตัวอย่าง 2-3 ครั้ง
- 1.2 เก็บน้ำตัวอย่างใส่ลงในขวด BOD ที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศและปิดฝาขวดให้สนิทขณะอยู่ในน้ำ
- 1.3 เติมสารละลาย Manganous sulfate (MnSO_4) 1 ml และ Alkali-iodide-azide reagent (AIA) 1 ml. ปิดจุกขวดไม่ให้มีฟองอากาศ เขย่า ตั้งทิ้งไว้ให้มืดก่อน 2 ใน 3 ของสารละลายในขวด
- 1.4 เติม Sulfuric acid (H_2SO_4) 1 ml. ปิดจุกเขย่าให้ตะกอนละลายจนหมด
- 1.5 นำน้ำตัวอย่างจากขวด BOD มา 100 ml. ไตเตรทด้วย Sodiumthiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.02 M จนได้สีเหลืองจาง ๆ แล้วหยดน้ำแข็ง 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วไตเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาตรของ Sodiumthiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ไปแล้วคำนวณค่าตามสูตร

$$\text{DO (mg/l)} = \text{ปริมาตร } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้} \times 2$$

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยวิธี Azide Modification of Iodometric Method

- 2.1 ล้างขวด BOD ชนิดขวดดำด้วยน้ำตัวอย่าง 2.3 ครั้ง
- 2.2 เก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวด BOD ดำ ที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศและปิดฝาขวดให้สนิทขณะอยู่ในน้ำ
- 2.3 นำขวด BOD ดำที่เก็บน้ำตัวอย่างไปใส่ตู้ Incubator ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
- 2.4 เติมสารละลาย Manganous sulfate (MnSO_4) 1 ml. และ Alkali-iodide-azide reagent (AIA) 1 ml. ปิดจุกขวดอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่า ตั้งทิ้งไว้ให้มืดก่อน 2 ใน 3 ของสารละลายในขวด
- 2.5 เติม Sulfuric acid (H_2SO_4) 1 ml. ปิดจุกเขย่าให้ตะกอนละลายจนหมด

2.6 นำน้ำตัวอย่างจากขวด BOD มา 100 ml. ไตเตรทด้วย Sodiumthiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.02 M จนได้สีเหลืองจาง ๆ แล้วหยดน้ำเบ้ง 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วไตเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาตรของ Sodiumthiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ไปแล้วคำนวณค่าตามสูตร

$$\text{BOD (mg/l)} = \text{ค่า DO ในวันแรก} - (\text{ปริมาตร } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้} \times 2)$$

3. วิธีวิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำโดยวิธี phenolphthalein methyl orange indicator

- 3.1 ตวงน้ำตัวอย่าง 100 ml. ใส่ใน flask ขนาด 250 ml.
- 3.2 เติม phenolphthalein indicator 3 หยด ลงใน flask เขย่าให้เข้ากัน
- 3.3 เติม methyl orange indicator 3 หยด ลงใน flask เขย่าให้เข้ากัน
- 3.4 ไตเตรทด้วย 0.02 N H_2SO_4 จนได้จุดยุติเป็นสีส้มแดง บันทึกปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้คำนวณตามสูตร

$$\text{Total alkalinity (mg.l}^{-1} \text{ as CaCO}_3\text{)} = \text{ปริมาตร } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ที่ใช้} \times 10$$

การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร (Greenberg, 2005)

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia nitrogen)

- 1.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml. ใส่ flask ขนาด 150 ml. และตวงน้ำ deionized ปริมาตร 25 ml. ใส่ใน flask 150 ml.
- 1.2 เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2400 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องจะแสดง Method ให้กด 380 Read/Enter เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 425 nm. ปรับความยาวคลื่นไปที่ 425 nm. จากนั้นกด Read/Enter เครื่องมือจะแสดง $\text{mg.l}^{-1} \text{NH}_3 \text{Ness}$
- 1.3 หยด mineral stabilizer 3 หยด ลงไปในน้ำตัวอย่าง และ blank เขย่าเบา ๆ จากนั้นเติม polyvinyl alcohol dispersing agent 3 หยด เขย่าเบา ๆ ให้สารเคมีผสมกัน
- 1.4 เติม Nessler reagent 1 ml. เขย่าให้สารเคมีเข้ากัน
- 1.5 กด SHIFT TIMER เพื่อตั้งเวลารอให้สารเคมีเกิดปฏิกิริยา เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน
- 1.6 รินน้ำใน flask ที่เป็นน้ำ deionized ลงใน cuvette ใส่ลงในช่องวัดแสง ปิดฝา แล้วกด ZERO เครื่องมือจะแสดงข้อความ Wait และ 0.00 $\text{mg.l}^{-1} \text{NH}_3 \text{Ness}$

1.7 เปลี่ยน cuvette เป็นน้ำตัวอย่าง กด ENTER เครื่องมือแสดงข้อความ Wait จากนั้นจะแสดงปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณแอมโมเนียได้ช่วง 0-2.5 mg.l⁻¹ NH₃

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate nitrogen)

2.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml. ใส่ใน flask 150 ml.

2.2 เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2400 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องจะแสดงข้อความ Selected Program ให้กดหมายเลข 355 แล้วกด Read/Enter เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 500 nm. ปรับความยาวคลื่นไปที่ 500 nm. จากนั้นกด Read/Enter เครื่องมือจะแสดง mg.l⁻¹ P PO₄³⁻ PV ใส่ NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า flask เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนให้หยุดเขย่า กด SHIFT TIMER อีกครั้งและตั้ง flask ทิ้งไว้ เมื่อครบ 5 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนอีกครั้งและแสดง mg.l⁻¹ NO₃N

2.3 เปิดฝาเครื่องมือใส่น้ำตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง Wait และ 0.00 mg.l⁻¹ NO₃N ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ Nitra Ver 3 Nitrate Reagent Powder Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง Wait และบอกปริมาณไนเตรทไนโตรเจนได้ในช่วง 0.00-30.0 mg.l⁻¹ NO₃N

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส หรือ Soluble Reactive Phosphorus (SRP)

3.1 ก่อนทำการวิเคราะห์ SRP ทุกครั้งควรล้างเครื่องแก้วที่จะใช้ด้วย HCl 10% กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml. ใส่ใน flask 150 ml. แล้วใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow อีก flask หนึ่งเอาไว้เปรียบเทียบกับไม่ต้องเติมสารใด ๆ

3.2 เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2400 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องจะแสดง Method ให้กดหมายเลข 890 แล้วกด Read/Enter เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 890 nm. ปรับความยาวคลื่นไปที่ 890 nm. จากนั้นกด Read/Enter เครื่องมือจะแสดง mg.l⁻¹ PO₄³⁻ เขย่า flask แรกที่เติม PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow ลงไป กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า flask เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

3.3 เปิดฝาเครื่องมือใส่น้ำตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง Wait และ 0.00 mg.l⁻¹ P PO₄³⁻ ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง Wait และบอกปริมาณออร์โธฟอสเฟต ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณออร์โธฟอสเฟตได้ในช่วง 0.00-0.25 mg.l⁻¹ PO₄³⁻

ภาคผนวก ข

การศึกษาลักษณะพื้นที่ท้องน้ำ (ทัตพรคุณ ประดิษฐ์, 2554)

การศึกษาลักษณะพื้นที่ท้องน้ำมีความจำเป็นอย่างยิ่งในดำเนินกิจกรรมทางนิเวศวิทยา โดยเฉพาะการสำรวจการกระจายและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากลักษณะพื้นที่ท้องน้ำหรือลักษณะ Substrate จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตของชุมชน(communities) และเป็นตัวบ่งชี้ความเหมาะสมของแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต (habitat) ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยทางด้านกายภาพ และเคมี และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเช่นกัน ได้เสนอวิธีการศึกษา ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำไว้ดังนี้

1. ทำการวัดความกว้างแหล่งน้ำ อย่างน้อย 3 จุด โดยห่างกัน 5 เมตร
2. กำหนดแนวการสำรวจ 5 ช่วงสำรวจ โดยมีสัดส่วนที่คงที่ตามความกว้างแหล่งน้ำ
3. วัดความลึกของน้ำในแต่ละแนวที่กำหนดไว้ พร้อมการเดินสำรวจลักษณะพื้นที่ท้องน้ำ โดยใช้เท้าสัมผัสกับพื้นที่ท้องน้ำเพื่อประเมินว่ามีลักษณะของ Substrate เช่น หิน กรวด ทราย โคลน โดยประเมินภาพรวมเป็นร้อยละของพื้นที่ บันทึกผลแต่ละจุด ให้ครบทุกแนวการสำรวจ
4. นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพตามอัตราส่วนเพื่อแสดงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำ

ภาคผนวก ก

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (AARL-PC score) (Peerapornpisal et, al., 2007)

ตารางที่ ก.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l⁻¹)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l ⁻¹)	คะแนนมาตรฐาน
มากกว่า 9	0.1
8-9	0.2
7-8	0.3
6-7	0.4
5-6	0.5
4-5	0.6
3-4	0.7
2-3	0.8
1-2	0.9
น้อยกว่า 1	1.0

ตารางที่ ก.2 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (mg.l⁻¹)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (mg.l ⁻¹)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.2	0.1
0.2-0.5	0.2
0.5-1.5	0.3
1.5-3	0.4
3-5	0.5
5-8	0.6
8-15	0.7
15-30	0.8
30-50	0.9
มากกว่า 50	1.0

ตารางที่ ค.3 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)

ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 10	0.1
10-20	0.2
20-40	0.3
40-80	0.4
80-120	0.5
120-200	0.6
200-300	0.7
300-450	0.8
450-700	0.9
มากกว่า 700	1.0

ตารางที่ ค.4 ปริมาณไนเตรต ไนโตรเจน (mg.l^{-1})

ปริมาณไนเตรต ไนโตรเจน (mg.l^{-1})	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.1	0.1
0.1-0.2	0.2
0.2-0.4	0.3
0.4-0.8	0.4
0.8-1.5	0.5
1.5-3.0	0.6
3.0-10.0	0.7
10.0-20.0	0.8
20.0-40.0	0.9
มากกว่า 40.0	1.0

ตารางที่ ค.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน (mg.l^{-1})

ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน (mg.l^{-1})	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01-0.03	0.2
0.03-0.06	0.3
0.06-0.10	0.4
0.10-0.30	0.5
0.30-0.50	0.6
0.50-0.70	0.7
0.70-1.0	0.8
1.0-3.0	0.9
มากกว่า 3.0	1.0

ตารางที่ ค.6 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (mg.l^{-1})

ปริมาณ soluble reactive phosphorus (mg.l^{-1})	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01-0.04	0.2
0.04-0.08	0.3
0.08-0.15	0.4
0.15-0.25	0.5
0.25-0.35	0.6
0.35-0.50	0.7
0.50-1.25	0.8
1.25-2.5	0.9
มากกว่า 2.5	1.0

ตารางที่ ค.7 คะแนนคุณภาพน้ำตามสถานะสารอาหาร (trophic status) และคุณภาพน้ำทั่วไป (AARL-PC score)

คะแนน	คุณภาพน้ำทั่วไป เทียบเท่ากับ คุณภาพน้ำตามสถานะสารอาหาร
0.1-0.8	น้ำสะอาดมาก เทียบเท่า hyperoligotrophhic status
0.9-1.6	น้ำสะอาด เทียบเท่า oligotrophic status
1.7-2.4	น้ำปานกลางค่อนข้างสะอาด เทียบเท่า oligotrophic-mesotrophic status
2.5-3.2	น้ำปานกลาง เทียบเท่า mesotrophic status
3.3-4.0	น้ำปานกลางค่อนข้างเสีย เทียบเท่า mesotrophic-eutrophic status
4.1-4.8	น้ำเสีย เทียบเท่า eutrophic status
มากกว่า4.8	น้ำเสียมาก เทียบเท่า hypereutrophic status

ภาคผนวก ง

การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ดัชนีทางชีวภาพ (BMWP Score) (Mustow, 2002)
และ (LRL-AO Score) (ทัตพร คุณประดิษฐ์, 2554)

การหาค่า BMWP Score และ ASPT

- นับจำนวนสิ่งมีชีวิตที่วินิจฉัย..... (1)
- นำข้อมูลของแมลงน้ำที่ถูกจัดจำแนกแล้วมาให้คะแนนตาม BMWP Score และ ASPT..... (2)
- นำคะแนนของสัตว์แต่ละชนิดมารวมกัน..... (3)
- นับจำนวนสัตว์ที่พบและให้คะแนนได้.....(4)
- นำค่าที่ได้ใน (4) หาค่าเฉลี่ยคะแนนรวมใน (2).....(5)
- คะแนนที่ได้ใน (5) เป็นคะแนนเฉลี่ย (Average Score Pretax = ASPT)

ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530) โดยสามารถนำคะแนนมาเปรียบเทียบกับได้ดังนี้

ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย (ASPT) จากการศึกษาสัตว์หน้าดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และคุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนนเฉลี่ย (ASPT)	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	คุณภาพน้ำทั่วไป
1-2	ระดับ 5	สกปรก
3-4	ระดับ 4	ค่อนข้างสกปรก
5-6	ระดับ 3	ปานกลาง
7-8	ระดับ 2	ปานกลางค่อนข้างดี
9-10	ระดับ 1	ดี จัดเป็นน้ำสะอาด

ตารางที่ ๓.2 ค่า BMWP score (Mustow, 2002)

Order	Family	BMWP score
CL. Tricladida	Dugesidae	5
Cl. Oligochaeta	All	1
Cl. Hirudinea	Erpobdellidae	3
	Clossiphoniidae	3
	Hirudidae	3
	Piscicolidae	4
Cl. Bivalvia	Curbiculidae	3
	Shaeriidae	3
Cl. Gastropoda	Hydrobiidae	3
	Triaridae	3
	Viviparidae	6
	Ancylidae	6
	Lymnaeidae	3
	Planorbidae	3
Decapoda	Atyidae	8
	Palaemonidae	8
	Parathelphusidae	3
Magaloptera	Corydalidae	4
	Sialidae	4
Ephemeroptera	Beatidae, Siphonuliidae	4
	Caenidae	7
	Ephemerellidae, Ephemeridae,	10
	Heptageniidae,	
	Leptophlebiidae, Potamanthidae	
Odonata	Aeshnidae, Calopterygidae, Chlorocyphidae,	6
	Corduliidae, Coenagrionidae, Libellulidae,	
	Cordulegastridae, Gomphidae, Macromiidae	

ตารางที่ ๓.๒ (ต่อ)

Order	Family	BMWP score
	Protoneuridae	3
Plecoptera	Nemouridae	7
	Perlidae	10
Hemiptera	Aphelocheiridae	10
	Corixidae, Gerridae, Pleidae,	5
	Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae,	
	Nepidae, Notonectidae	
Tricoptera	Goeridae, Lepidostomatidae, Leptoceridae,	10
	Molannidae, Odontoceridae,	
	Brachycentridae, Phryganeidae	
	Philopotamidae, Psychomyiidae	8
	Rhyacophilidae	7
	Hydroptilidae	6
	Hydropsychidae	5
Coleoptera	Chysomelidae, Curculionidae, Dryopidae,	5
	Dytiscidae, Elminthidae, Gyrinidae,	
	Haliplidae, Helodidae, Hydrophilidae,	
	Psephenidae	
Diptera	Chironomidae	2
	Simuliidae, Tipulidae	5

การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ LRL-AO Score (ทัตพร คุณประดิษฐ์, 2554)

ตารางที่ ง.3 คะแนนของสาหร่ายขนาดใหญ่แต่ละชนิดที่บ่งชี้คุณภาพน้ำต่าง ๆ (1-10 คะแนน)
(คะแนนน้อยบ่งชี้คุณภาพน้ำดี คะแนนมากบ่งชี้ คุณภาพน้ำไม่ดี)

ชนิด	คะแนน	ชนิด	คะแนน
<i>Scytonema chiasmum</i> Geitler	3	<i>Audouinella cylindrica</i> Agardh	4
<i>Nostoc</i> sp.	3	<i>Nemalionopsis shawii</i> Skuja	4
<i>Gonatozygon aculeatum</i> Hastings	3	<i>Lyngbya</i> sp.1	4
<i>Microspora pachyderma</i> (Wille) Lagerheim	4	<i>Oscillatoria irrigua</i> (Kützinger) Gomont	4
<i>Stigeoclonium lubricum</i> (Dillwyn) Kützinger	4	<i>Spirogyra</i> sp.1	4
<i>Stigeoclonium flagelliform</i> Kützinger	4	<i>Phormidium retzii</i> (Agardh) Gomont	4
<i>Nostochopsis</i> sp.	4	<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher	4
<i>Oscillatoria rubescens</i> DC ex Gomont	4	<i>Tetraspora</i> sp.1	5
<i>Oedogonium</i> sp.1	4		

ตารางที่ ง.4 คะแนนของแมลงน้ำแต่ละวงศ์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำต่าง ๆ (1-10 คะแนน) (คะแนนน้อย บ่งชี้คุณภาพน้ำดี คะแนนมากบ่งชี้คุณภาพน้ำไม่ดี)

วงศ์	คะแนน	วงศ์	คะแนน
Curculionidae	3	Hydropsychidae	4
Dryopidae	3	Ephemeraeidae	4
Athericidae	3	Euphaeidae	4
Lepidostomatidae	3	Brachycentridae	4
Limnacentropodidae	3	Calamoceratidae	4
Stenopsychidae	3	Leptophlebiidae	4
Ephemereillidae	3	Psephenidae	4
Corydalidae	3	Hydroptilidae	4
Leuctridae	4	Elmidae	4
Peltoperlidae	4	Rhyacophilidae	4
Nemouridae	4	Simulidae	4
Chrysomelidae	4	Ceratopogonidae	4
Hydrometridae	4	Limnephilidae	4
Capniidae	4	Tipulidae	4
Goeridae	4	Pleidae	4
Philopotamidae	4	Glossosomatidae	4
Odontoceridae	4	Veliidae	4
Potamanthidae	4	Gerridae	4
Leptoceridae	4	Calopterygidae	4
Perlidae	4	Belostomatidae	4
Gyrinidae	4	Coenagrionidae	4
Naucoridae	4	Macromiidae	4
Lympyridae	4	Sericostomadae	4
Dixidae	4	Siphonuridae	4

ตารางที่ ง.4 (ต่อ)

วงศ์	คะแนน		วงศ์	คะแนน
Empididae	4		Oligoneuriidae	4
Ephydriidae	4		Aeshnidae	4
Heptageniidae	4		Tricorythidae	4
Dytiscidae	4		Nepidae	4
Cordulegastridae	4		Corduliidae	4
Baetidae	4		Caenidae	4
Gomphidae	4		Stratiomyidae	4
Noteridae	4		Notonectidae	4
Chaoboridae	4		Platystictidae	4
Polymitarcyidae	4		Helodidae	4
Chlorocyphidae	4		Baetiscidae	5
Lestidae	4		Neophemeridae	5
Petaluridae	4		Culicidae	5
Libellulidae	4		Hydrophilidae	5
Corixidae	4		Mesoveliidae	5
Chironomidae	4		Pteronarcyidae	5
Protoneuridae	4			

โดยการคำนวณหาคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร และคุณภาพน้ำทั่วไปจากกลุ่มของสิ่งมีชีวิตจาก ดัชนีชีวภาพ LRL-AO score คำนวณได้ดังนี้ ตัวอย่างเช่น การใช้แมลงน้ำประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำ

1. นำแมลงน้ำที่พบในแหล่งน้ำ และที่มีคะแนนมาเทียบกับคะแนนของแมลงน้ำแต่ละวงศ์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำต่าง ๆ (ตารางที่ ง.4) คูณด้วยจำนวนตัวที่พบแต่ละชนิด
2. รวมคะแนนแล้วหารด้วยจำนวนตัวของแมลงน้ำที่มีคะแนนที่พบทั้งหมด
3. เปรียบคะแนนประเมินคุณภาพน้ำ กับตารางคะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร (trophic status) และคุณภาพน้ำทั่วไป LRL-AO score โดยเทียบกับตารางที่ ง.5

ตารางที่ ๖.5 คะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร (trophic status) และคุณภาพน้ำทั่วไป
LRL-AO score

คะแนน	คุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร	คุณภาพน้ำทั่วไป
0.1-1.8	สารอาหารน้อย (oligotrophic status)	ดี (clean)
1.9-3.6	สารอาหารน้อยถึงปานกลาง (oligo-mesotrophic status)	ดีถึงปานกลาง (clean to moderate)
3.7-5.4	สารอาหารปานกลาง (mesotrophic status)	ปานกลาง (moderate)
5.5-7.2	สารอาหารปานกลางถึงสูง (meso-eutrophic status)	ปานกลางถึงไม่ดี (moderate to polluted)
7.3-9.0	สารอาหารสูง (eutrophic status)	ไม่ดี (polluted)
9.1-10.0	สารอาหารสูงมาก (hypereutrophic status)	ไม่ดีมาก (very polluted)

ตัวอย่างเช่น พบแมลงน้ำวงศ์

Stenopsychidae	3 คะแนน X พบ 10 ตัว เท่ากับ 30 คะแนน
Corixidae	4 คะแนน X พบ 5 ตัว เท่ากับ 20 คะแนน
Gomphidae	4 คะแนน X พบ 5 ตัว เท่ากับ 8 คะแนน
รวม	20 58

ดังนั้น 58 หารด้วย 20 เท่ากับ 2.9 หมายถึง สารอาหารน้อยถึงปานกลาง
คุณภาพน้ำดี ถึงปานกลาง

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงข้อมูล จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดศึกษา

ตารางที่ จ.1 ปัจจัยทางกายภาพ ทางเคมีบางประการจากการเก็บตัวอย่างในจุดศึกษาที่ ML1-ML5 ระหว่างเดือน กรกฎาคม 2553 – มิถุนายน 2554

Site/time	Air t.	Water t.	Velocity	pH	Cond.	TDS.	DO.	BOD.	NO ₃ -N.	NH ₃ -N.	PO ₄ -	Turbidity
ML1a	24.0	23.0	0.18	7.10	45.0	30	7.0	3.2	1.3	0.43	0.26	20
ML2a	22.0	23.0	0.30	7.15	122.0	58	6.2	3.0	0.2	0.56	0.59	101
ML3a	27.0	28.0	0.16	7.47	151.0	52	6.0	2.8	1.1	0.55	0.42	42
ML4a	26.5	23.5	0.38	7.41	120.0	53	5.8	3.4	2.5	1.14	0.51	292
ML5a	32.0	29.0	0.54	7.30	124.0	55	5.4	3.2	2.5	1.12	0.81	309
ML1b	22.0	20.0	0.04	6.99	25.5	15	7.5	3.6	1.5	nd	0.29	8
ML2b	25.0	23.0	0.04	7.16	97.0	45	8.0	3.45	1.1	nd	0.51	5
ML3b	27.0	26.0	0.05	7.13	124.0	67	7.4	4.25	0.8	0.58	0.72	65
ML4b	30.0	25.0	0.02	7.21	212.0	107	7.6	4.21	0.5	0.76	0.61	185
ML5b	35.0	26.0	0.05	7.69	107.0	55	7.7	4.35	0.7	0.67	0.65	65

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

Site/time	Air t.	Water t.	Velocity	pH	Cond.	TDS.	DO.	BOD.	NO ₃ -N.	NH ₃ -N.	PO ₄ .	Turbidity
ML1c	25.0	17.3	0.38	7.15	38.0	19	8.0	3.0	1.1	0.28	0.34	8
ML2c	19.2	19.5	0.37	7.22	113.0	44	8.0	3.0	1.0	0.44	0.66	18
ML3c	20.0	21.5	0.23	6.98	151.0	60	7.1	3.6	0.6	0.42	0.65	18
ML4c	21.0	21.0	0.26	7.14	223.0	95	7.2	3.2	1.1	0.64	0.74	42
ML5c	23.5	22.2	0.19	6.84	225.0	96	5.1	2.0	1.5	0.88	0.79	84
ML1d	22.0	19.5	0.13	7.00	36.7	24	8.0	2.0	0.3	0.35	0.29	60
ML2d	24.8	23.0	0.19	6.5	121.5	54	8.5	2.7	1.8	0.38	0.31	18
ML3d	27.0	23.0	0.22	6.5	182.2	77	8.0	1.9	2.9	0.68	0.35	18
ML4d	31.0	27.0	0.20	4.00	396.0	236	5.5	2.5	1.3	0.70	0.13	42
ML5d	30.0	28.0	0.23	6.00	235.0	111	6.3	3.5	1.4	0.32	0.17	84
ML1e	25.0	20.0	0.29	8.8	29.2	14	8.5	2.1	0.1	0.45	0.26	122
ML2e	25.0	22.0	0.40	8.5	39.8	18	7.4	2.2	1.4	0.45	0.29	576
ML3e	27.0	24.0	0.26	7.49	250.0	33	6.8	2.0	3.1	0.75	0.37	1100
ML4e	23.0	26.0	0.21	7.68	110.9	53	8.4	2.3	1.2	0.73	0.16	83
ML5e	23.0	26.0	0.16	7.36	110.7	52	6.4	2.6	1.6	0.23	0.18	79

ตารางที่ จ.5 (ต่อ)

Family	ML1a	ML2a	ML3a	ML4a	ML5a	ML1b	ML2b	ML3b	ML4b	ML5b
Ceratopogonidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chironomidae	1	2	21	3	8	0	0	14	0	0
Empididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Simuliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Tipulidae	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Polychaeta	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Tubificidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	52	24	22	5	10	10	15	109	38	221

ตารางที่ จ.6 ข้อมูลจำนวนแมลงน้ำที่สำรวจพบในจุดศึกษาที่ ML1-ML5 (ครั้งที่ 3-4)

Family	ML1c	ML2c	ML3c	ML4c	ML5c	ML1d	ML2d	ML3d	ML4d	ML5d
Baetidae	15	145	172	32	11	5	15	32	0	0
Caenidae	0	1	18	0	4	5	0	0	0	0
Ephemerellidae	32	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Heptageniidae	4	28	3	9	0	0	7	0	0	0

ตารางที่ ๑.๖ (ต่อ)

Family	ML1c	ML2c	ML3c	ML4c	ML5c	ML1d	ML2d	ML3d	ML4d	ML5d
Macromiidae	3	1	2	0	3	0	1	0	0	0
Platystictidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Leuctridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perilidae	11	1	0	0	0	2	0	0	0	0
Belostomatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corixidae	0	1	15	3	82	0	0	52	0	0
Gerridae	0	0	21	1	0	0	0	0	0	0
Naucoridae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Notonectidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veliidae	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Corydalidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Dytiscidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elmidae	16	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Helodidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Hydrophilidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Psephenidae	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0

ตารางที่ ๑.๖ (ต่อ)

Family	ML1c	ML2c	ML3c	ML4c	ML5c	ML1d	ML2d	ML3d	ML4d	ML5d
Brachycentridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glossomatidae	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Helicopsychidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydropsychidae	2	1	201	45	38	0	25	0	0	0
Hydroptilidae	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidostomatidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Limnephilidae	0	0	0	0	0	1	4	0	0	4
Philopotamidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psychomyiidae	2	0	0	0	20	0	0	0	0	0
Stenopsychidae	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pyrilidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ceratopogoniidae	0	0	0	3	0	1	7	0	0	0
Chironomidae	1	72	82	11	0	272	144	375	441	156
Empididae	0	12	0	0	0	0	1	0	0	0
Simuliidae	3	0	3	1	14	0	6	0	0	1

ตารางที่ จ.6 (ต่อ)

Family	ML1c	ML2c	ML3c	ML4c	ML5c	ML1d	ML2d	ML3d	ML4d	ML5d
Tipulidae	2	1	0	0	0	0	25	0	0	0
Polychaeta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubificidae	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	141	287	534	110	182	313	252	484	443	172

ตารางที่ จ.7

ข้อมูลจำนวนแมลงน้ำที่สำรวจพบในจุดศึกษาที่ ML1-ML5 (ครั้งที่ 5-6)

Family	ML1e	ML2e	ML3e	ML4e	ML5e	ML1f	ML2f	ML3f	ML4f	ML5f
Baetidae	3	2	49	2	4	34	1	4	2	0
Caenidae	0	0	0	0	0	4	1	2	4	0
Ephemeroidea	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Heptageniidae	6	7	20	0	0	11	3	0	0	0
Hydroptilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptophlebiidae	2	1	0	0	0	5	0	0	0	0
Neophemeridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligoneuriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ จ.7 (ต่อ)

Family	ML1e	ML2e	ML3e	ML4e	ML5e	ML1f	ML2f	ML3f	ML4f	ML5f
Polymtarcyidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potamanthidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siphonuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tricorythidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ashinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calopterygidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Coenagrionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cordulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euphaeidae	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
Gomphidae	1	1	10	0	0	0	4	0	9	5
Lestidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Libellulidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Macromiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Platystictidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leuctridae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perlidae	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0

ตารางที่ จ.7 (ต่อ)

Family	ML1e	ML2e	ML3e	ML4e	ML5e	ML1f	ML2f	ML3f	ML4f	ML5f
Belostomatidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Corixidae	0	0	10	1623	12	0	0	0	86	47
Gerridae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Naucoridae	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Notonectidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corydalidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dytiscidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elmidae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Helodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrophilidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Psephenidae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Brachycentridae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Glossosomatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Helicopsychidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydropsychidae	0	5	8	0	0	4	0	0	0	0

ตารางที่ จ.7 (ต่อ)

Family	ML1e	ML2e	ML3e	ML4e	ML5e	ML1f	ML2f	ML3f	ML4f	ML5f
Hydroptilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidostomatidae	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
Limnephilidae	5	2	0	0	0	0	1	0	0	0
Philopotamidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psychomyiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stenopsychidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pyrilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ceratopogoniidae	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Chironomidae	2	17	1	0	10	1	7	8	5	7
Empididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Simuliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tipulidae	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0
Polychaeta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubificidae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Total	42	41	102	1626	26	93	18	14	106	59

ภาคผนวก จ

การหาค่า IOC และ ค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญ

วิธีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา เป็นการตรวจสอบเครื่องมือมีความเป็นตัวแทน หรือครอบคลุมเนื้อหาหรือไม่ โดยพิจารณาจากตารางวิเคราะห์เนื้อหา หรือตรวจสอบความสอดคล้องของเนื้อหา กับจุดประสงค์ที่กำหนด (นัฐพร ตื้อจันทา, 2552)

สามารถทำได้จากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้น ๆ จำนวน 3-7 คนเพื่อลงสรุป โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence : IOC) ที่มีเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนน ดังนี้

ให้	1	เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์
	0	เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์หรือไม่
	-1	เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์

หลังจากนั้นนำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องฯ โดยใช้สูตรของ โรวินลลี และแฮมเบิลตัน มีสูตรการคำนวณ (Rovinelli and Hambleton, 1977 : 49-60)

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

เมื่อ

IOC คือ ความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบ

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาระดับค่าดัชนีความสอดคล้องฯ ของข้อคำถามที่ได้จากการคำนวณจากสูตรที่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 มีรายละเอียดของเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป คัดเลือกคุณสมบัติข้อนั้นไว้ใช้ได้ แต่ถ้าได้ค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาแก้ไขปรับปรุง หรือตัดทิ้ง (นัฐพร ตื้อจันทา, 2552)

ภาคผนวก ข

ภาพการทำกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมศึกษาผ่านคู่มือฯ



ภาพที่ ข.1 แสดงกิจกรรมการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยการใช้คู่มือฯ

ณ อุทยานแห่งชาติขุนแจ จ.เชียงราย

ภาคผนวก ก

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ/ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อคู่มือ
 “การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติสำหรับนักเรียน”

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อคู่มือฯ โดยใส่เครื่องหมาย (✓)
 ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณา
 ปรับปรุงต่อไป

กำหนดให้ +1 หมายถึง มีความสอดคล้อง 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ -1 หมายถึง ไม่สอดคล้อง

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	1	
1. ความสอดคล้องเหมาะสมกับหลักสูตร แกนกลาง 2551 ฯ				
2. ความสอดคล้องเหมาะสมกับธรรมชาติวิชา (วิชาวิทยาศาสตร์)				
3. ความสอดคล้องเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน (ระดับมัธยมศึกษา)				
4. ความสอดคล้องเหมาะสมกับสภาพปัจจุบันและ ปัญหา(เช่นคู่มือสะท้อนการต้องการใช้เพื่อพัฒนา แก้ปัญหาสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน เกี่ยวกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม)				
5. ความเหมาะสมต่อกระบวนการพัฒนาผู้เรียน				
6. ความเหมาะสมของเนื้อหา				
7. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร				
8. ความเหมาะสมของรูปแบบกิจกรรมในคู่มือ				
9. ความเหมาะสมของรูปภาพในชุดกิจกรรม				
10. ความเหมาะสมของการใช้ภาษา				
11. ความเหมาะสมกับความสนใจของนักเรียน				
12.ความเหมาะสมของรูปแบบ ลักษณะภาพรวม ของคู่มือฯ				



ภาคผนวก ญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ คู่มือการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติสำหรับนักเรียน

1. ดร.ทัตพร คุณประดิษฐ์ อาจารย์ระดับ 7 ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งรองผู้อำนวยการสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และ อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตชล ผลารักษ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง หัวหน้าภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. นางดวงมณี แสงม่วง ตำแหน่ง ครูชำนาญการพิเศษ (คศ3.) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเวียงป่าเป้าวิทยาคม จังหวัดเชียงราย
4. นางพิชยา ชุมก ตำแหน่ง ครูชำนาญการพิเศษ (คศ3.) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนธีรกานท์บ้านโฮ้ง จังหวัดลำพูน
5. นางสาวนัฐพร ตื้อจันทา ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง หัวหน้างานวัดผลประเมินผลและวิจัย โรงเรียนเชียงใหม่คริสเตียน และ ผู้ประเมินภายนอก สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) หรือ (สมศ.)