ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพ แต่ละระดับความลึกในแต่ละฤดู

ตารางที่ 5 แสดงความลึกของน้ำที่แสงส่องถึงของน้ำในเขื่อนแม่งัด ช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน

ฤดู	ฝน (มิถุนายน 2557)	หนาว (กันยายน 2557)	ร้อน (กุมภาพันธ์ 2558)
ความลึก (m.)	30	35	30
ความลึกที่แสงส่องถึงของน้ำ (m.)	1.60	2.30	3.50

ตารางที่ 6 แสดงคุณภาพน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน 2557)

ระดับความลึก (m.)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)	pH	DO ($mg.l^{-1}$)	BOD ($mg.l^{-1}$)	แอมโมเนียไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	ไนเตรทไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	SRP ($mg.l^{-1}$)	ค่าความขุ่น FTU
ระดับผิวน้ำ	30	135.6	6.83	5.7	5.3	0.04	0.8	0.38	3
5	22	136.7	6.87	5.5	3.9	0	0.2	0.37	2
10	19	167.4	6.44	0.2	0.2	0.07	1.0	0.33	7
15	19	134.9	6.34	0	0	0.02	0.1	0.11	2
20	18.5	158.9	6.22	0	0	0.12	1.1	0.53	11
25	18	143.6	6.63	0	0	0.01	1.0	0.63	7

ตารางที่ 7 แสดงคุณภาพน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ในช่วงฤดูหนาว (เดือนกันยายน 2557)

ระดับความลึก (m.)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)	pH	DO ($mg.l^{-1}$)	BOD ($mg.l^{-1}$)	แอมโมเนียไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	ไนเตรทไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	SRP ($mg.l^{-1}$)	ค่าความขุ่น FTU
ระดับผิวน้ำ	31	130.6	5.95	2.6	0.2	0.23	0.9	0.45	3
5	30	129.9	5.12	6.4	2.4	0.20	0.2	0.43	3
10	28.5	141.0	4.83	0	0	0.30	0.8	0.96	7
15	28	128.9	4.63	0	0	0.39	0.8	1.03	16
20	30	111.3	5.17	0.12	0	0.37	1.5	0.73	45
25	29	141.7	5.27	0	0	0.61	1.1	0.66	63
30	23.5	157.8	5.83	0	0	1.42	1.5	0.35	16
35	24	151.1	5.61	1.0	0	1.39	1.2	0.35	14

ตารางที่ 8 แสดงคุณภาพน้ำในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ในช่วงฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ 2558)

ระดับความลึก (m.)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)	pH	DO ($mg.l^{-1}$)	BOD ($mg.l^{-1}$)	แอมโมเนียไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	ไนเตรทไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	SRP ($mg.l^{-1}$)	ค่าความขุ่น FTU
ระดับผิวน้ำ	24	143.6	13.18	6.8	4.1	0.24	0	0	2
5	24.5	143.1	12.16	6.6	4.9	0.21	0	0	1
10	23.9	142.6	13.09	6.4	4.9	0.21	0	0	2
15	24.3	142.1	12.94	4.0	2.5	0.20	0	0	3
20	23.8	142.2	12.76	3.2	2	0.19	0	0	7
25	24.1	138.5	12.71	2.8	2	0.14	0	0	5
30	23.5	137.6	12.55	1.8	1.3	0.21	0.3	0	2

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธี azide modification

1.1 ล้างขวด BOD ด้วยน้ำตัวอย่าง 2 – 3 ครั้ง

1.2 เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด BOD ที่ระดับความลึกประมาณ 30 ซม. โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศและปิดฝาขวดให้สนิทขณะอยู่ในน้ำ

1.3 เติมสารละลาย $MnSO_4$ 1 ml. และสารละลาย alkali – iodide azide reagent 1 ml. ปิดฝาและเขย่าขวดจนเริ่มตกตะกอน

1.4 เติม conc. H_2SO_4 1 ml. ปิดฝา เขย่าให้เข้ากัน

1.5 รินสารละลายที่ได้ ปริมาตร 100 ml. ใส่ใน flask ไตเตรทด้วย $Na_2S_2O_3$ 0.02 M จนได้สีเหลืองจางๆ แล้วเติมน้ำแป้ง 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วไตรเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป จดปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ใช้แล้วนำไปคำนวณตามสูตร

$$DO\ (mg.l^{-1}) = \text{ปริมาตร } Na_2S_2O_3 \text{ ที่ใช้ (ml.)} \times 2$$

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์

2.1 ล้างขวด BOD ด้วยน้ำตัวอย่าง 2 – 3 ครั้ง

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด BOD ดำ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.3 นำขวด BOD ที่เก็บตัวอย่างน้ำเรียบร้อย ใส่ในตู้ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน

2.4 เติมสารละลายและทำการไตเตรทเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.5 คำนวณตามสูตร

$$BOD\ (mg.l^{-1}) = \text{ค่า DO ในวันแรก} - (\text{ปริมาตร } Na_2S_2O_3 \text{ ที่ใช้} \times 2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

1.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml. ใส่ flask ขนาด 150 ml. และตวงน้ำ deionized ปริมาตร 25 ml. ใส่ใน flask 150 ml. อีก flask

1.2 เปิดเครื่อง spectrophotometer DR/2010 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF – TEST แล้วเครื่องจะแสดง Method ให้กด 380 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 425 mm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง ml/1 NH_3NeSS

1.3 หยด mineral stabilizer 3 หยด ลงไปในน้ำตัวอย่าง และ blank เขย่าเบาๆ จากนั้นเติม polyvinyl alcohol dispersing agent 3 หยด เขย่าเบาๆ ให้สารเคมีผสมกัน

1.4 เติม Nessler reagent 1 ml. เขย่าสารเคมีให้เข้ากัน

1.5 กด SHIFT TIMER เพื่อตั้งเวลารอให้สารเคมีเกิดปฏิกิริยา เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนขึ้น

1.6 รินน้ำใน flask ที่เป็นน้ำ deionized ลงใน cuvette ใส่ลงไปในช่องวัดแสงปิดฝา แล้วกด ZERO เครื่องมือจะแสดงข้อความ Wait และ 0.00 $mg.l^{-1}$ NH_3 NeSS

1.7 เปลี่ยน cuvette เป็นตัวอย่างน้ำ กด ENTER เครื่องมือจะแสดงข้อความ Wait จากนั้นจะแสดงปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณแอมโมเนียได้ช่วง 0 – 2.5 $mg.l^{-1}$ NH^3 Ness

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

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

2.2 เปิดเครื่อง spectrophotometer DR/2010 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF – TEST แล้วเครื่องจะแสดง ข้อความ Selected Program ให้กดหมายเลข 355 แล้วกด ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 500 mm ปรับความยาวคลื่นไปที่ 500 mm จากนั้นกด ENTER เครื่องมือจะแสดง $mg.l^{-1}$N NO_3N

2.3 ใส่ Nitra Ver 5 Nitrate Reagent Powder Pillow กด SHIFT – TIMER แล้วเขย่า flask เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนให้หยุดเขย่า กด SHIFT – TIMER อีกครั้งและตั้ง flask ทิ้งไว้ เมื่อครบ 5 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนอีกครั้ง และแสดง $mg.l^{-1}$ N NO_3 N

2.4 เปิดฝาเครื่องมือใส่น้ำตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารใดๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง Wait และ 0.00 $mg.l^{-1}$ N NO_3 N ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ Nitra Ver 5 Nitrate Reagent Powder Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ได้ในช่วง 0.00 – 30.0 $mg.l^{-1}$ N NO_3 N

3. วิเคราะห์ปริมาณ soluble reactive phosphorus

3.1 ก่อนทำการวิเคราะห์ SRP ทุกครั้ง ควรล้างเครื่องแก้วที่จะใช้ด้วย HCI 10% กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml. ใส่ใน flask แล้วใส่ Phos Ver 3 Phoshate Reagent Powder Pillow อีก Flask หนึ่งเอาไว้เปรียบเทียบไม่ต้องเติมสารใดๆ

3.2 เปิดเครื่อง spectrophotometer DR/2010 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF – TEST แล้วเครื่องจะแสดง Method ให้กดหมายเลข 890 แล้วกด READ/ENTER เครื่องมือแสดงความยาวคลื่น 890 nm ปรับความยาวคลื่นไปที่ 890 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง mg/l P PO^{3-}_4 PV หรือ $mg.l^{-1}$ P PV

3.3 เขย่า flak แรกที่เติม Phos Ver 3 Phoshate Reagent Powder Pillow ลงไป กด SHIFT – TIMER แล้วเขย่า Flask เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

3.4 เปิดฝาเครื่องมือใส่น้ำตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารใดๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง Wait และ 0.00 mg/l^{-1} P PO^{3-}_4 PV หรือ $mg.l^{-1}$ P PV ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ ใส่ Phos Ver 3 Phoshate Reagent Powder Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง Wait และบอกปริมาณออร์โธฟอสเฟตได้ในช่วง 0.00 – 0.24 mg/l^{-1} PO^{3-}_4

ภาคผนวก ค

การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ AARL – PC Score และ AARL – PP Score

การประเมินคุณภาพน้ำในระบบนิเวศน้ำนิ่งโดยใช้ลำดับคะแนนอย่างง่าย AARL – PC Score

การประเมินคุณภาพน้ำดังกล่าวนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพบางประการ โดยประยุกต์มาจากมาตรฐานคุณภาพน้ำของ Lorraine and Vollenweider (1981) Wetzel (2001) และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 มาประเมินร่วมกัน โดยพารามิเตอร์ที่เป็นพื้นฐานทั่วไปของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ซึ่งได้แก่

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)
2. ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (BOD)
3. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)
4. ปริมาณสารอาหาร ได้แก่
   - 4.1 ไนเตรท ไนโตรเจน
   - 4.2 แอมโมเนียไนโตรเจน
   - 4.3 ออร์โธฟอสเฟต หรือ solution reactive phosphorus

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ว่ามีมากน้อยเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำแหล่งหนึ่งๆ ตลอดการวิจัยควรจะใช้ค่ามาตรฐานการคำนวณนี้เหมือนกันทุกครั้ง วิธีการมีดังนี้ จากค่ามาตรฐานของ Lorraine and Vollenweider (1981) Wetzel (2001) และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 จะทำให้ทราบว่าแหล่งน้ำที่ทำการศึกษา แต่ละพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ควรมีค่าสูงและต่ำที่สุดเท่าใด ในที่นี้อาจใช้ตาราที่เขียนเกี่ยวกับคุณภาพของแหล่งน้ำในประเทศไทยประเภทต่างๆ จะมีความเหมาะสมมาก

เมื่อได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละพารามิเตอร์แล้วนำมาจัดเป็นลำดับตัวเลขซึ่งจะใช้เป็น

คะแนนมาตรฐาน โดยค่าที่แสดงคุณภาพน้ำด้านที่ดีสูงสุด จะมีค่าคะแนนเป็น 0.1 และค่าที่แสดงคุณภาพน้ำด้านที่เสียต่ำสุดเป็น 1 หรืออาจจะใช้คะแนนมากกว่าคะแนนด้านที่ดีสูงสุดเป็น 0.1 และคะแนนน้อยกว่าคะแนนด้านที่เสียต่ำสุดเป็น 1 ก็ได้ ในกรณีที่มีตัวเลขในแต่ละพารามิเตอร์มาก แต่คะแนนมาตรฐานมีเพียง 10 ชั้น คือ 0.1 - 1.0 ให้จัดกลุ่มตัวเลขในพารามิเตอร์นั้นๆ ให้เป็นอันตรภาคชั้นแต่ละชั้น ให้มีความเหมาะสมแล้วจึงจัดคะแนนมาตรฐานของแต่ละอันตรภาคชั้น

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคะแนนมาตรฐาน

ตารางที่ 9.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ($mg.l^{-1}$)

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

ตารางที่ 9.2 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.1	0.1
0.1 - 0.2	0.2
0.2 - 0.5	0.3
0.5 – 1.5	0.4
1.5 – 3.0	0.5
3.0 – 6.0	0.6
6.0 – 10.0	0.7
10.0 – 20.0	0.8
20.0 – 40.0	0.9
มากกว่า 40	1.0

ตารางที่ 9.3 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)

ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 5	0.1
5 – 10	0.2
10 – 30	0.3
30 – 60	0.4
60 – 100	0.5
100 – 150	0.6
150 – 200	0.7
200 – 300	0.8
300 – 450	0.9
มากกว่า 450	1.0

ตารางที่ 9.4 ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01 – 0.05	0.2
0.05 – 0.1	0.3
0.1 – 0.2	0.4
0.2 – 0.4	0.5
0.4 – 0.8	0.6
0.8 – 1.5	0.7
1.5 – 3.0	0.8
3.0 – 5.0	0.9
มากกว่า 5.0	1.0

ตารางที่ 9.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01 – 0.05	0.2
0.05 – 0.1	0.3
0.1 – 0.15	0.4
0.15 – 0.3	0.5
0.3 – 0.5	0.6
0.5 – 0.8	0.7
0.8 – 1.5	0.8
1.5 – 5.0	0.9
มากกว่า 5.0	1.0

ตารางที่ 9.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต หรือ Soluble reactive phosphorus ($mg.1^{-1}$)

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต หรือ Soluble reactive phosphorus ($mg.1^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01 – 0.05	0.2
0.05 – 0.1	0.3
0.1 – 0.15	0.4
0.15 – 0.3	0.5
0.3 – 0.5	0.6
0.5 – 0.8	0.7
0.8 – 1.5	0.8
1.5 – 5.0	0.9
มากกว่า 5.0	1.0

ตารางที่ 9.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ($\mu g.1^{-1}$)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ($\mu g.1^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.05	0.1
0.05 – 0.1	0.2
0.1 – 0.5	0.3
0.5 – 1.5	0.4
1.5 – 3.0	0.5
3.0 – 5.0	0.6
5.0 – 10.0	0.7
10.0 – 15.0	0.8
15.0 – 20.0	0.9
มากกว่า 20.0	1.0

จากนั้นจะทำการแบ่งชั้นคุณภาพน้ำ โดยใช้ตัวเลขต่ำสุดที่ควรจะเป็นได้คือ 0.1 และสูงสุดที่ควรจะเป็น ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้วัด เช่น ถ้าใช้ 6 พารามิเตอร์ ตัวเลขสูงสุดจะเป็น 6.0 ถ้าใช้พารามิเตอร์ตัวเลขสูงสุดจะเป็น 5.0 เป็นต้น แล้วนำมาจัดอันตรภาคชั้นออกเป็น 7 ลำดับ โดยจะมีความถี่เท่ากัน แล้วจัดคุณภาพน้ำแต่ละลำดับ ดังตารางที่ 9.8

ตารางที่ 9.8 คะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนน	คุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร	คุณภาพน้ำทั่วไป
0 – 0.9	Hyper oligotrophic status	คุณภาพน้ำดีมาก
1.0 – 1.8	oligotrophic status	คุณภาพน้ำดี
1.9 – 2.7	Oligotrophic – mesotrophic status	คุณภาพน้ำดีปานกลาง
2.8 – 3.6	mesotrophic status	คุณภาพน้ำปานกลาง
3.7 – 4.5	mesotrophic - eutrophic status	คุณภาพน้ำปานกลางค่อนข้างเสีย
4.6 – 5.4	eutrophic status	คุณภาพน้ำเสีย
มากกว่า 5.4	Hyper eutrophic status	คุณภาพน้ำเสียมาก

วิธีการใช้ AARL – PC Score

ตัวอย่าง ในการศึกษาคุณภาพน้ำในอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในเดือนพฤษภาคม 2550 ได้ผล ดังนี้

ค่า DO 6.8 $mg.l^{-1}$

ค่า BOD 0.4 $mg.l^{-1}$

ค่าการนำไฟฟ้า 91 $\mu S.cm^{-1}$

ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน 0.25 $mg.l^{-1}$

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน 0.48 $mg.l^{-1}$

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต หรือ Soluble reactive phosphorus 0.19 $mg.l^{-1}$

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 7.8 $mg.l^{-1}$

เมื่อนำค่าจากพารามิเตอร์ต่างๆ มาเปรียบเทียบกับคะแนนมาตรฐานที่จัดทำขึ้น จะได้ดังนี้

คะแนนค่า DO = 0.4

ค่า BOD = 0.2

ค่าการนำไฟฟ้า = 0.6

ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน = 0.3

ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน = 0.7

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต หรือ Soluble reactive phosphorus = 0.5

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ = 0.5

เอาคะแนนมาตรฐานทั้งหมดมารวมกัน จะได้ = 3.2

ดังนั้นคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จะอยู่ในช่วง 3.0 – 3.8 นั่นคือคุณภาพน้ำปานกลาง เทียบเท่า mesotrophic status

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ CHIANG MAI RAJABHAT UNIVERSITY