

การศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข็บ  
STUDY ON THE WATER QUALITY AND NUTRIENT ENRICHMENT IN  
TAKHEKOB CANAL

นางสาวธนภรณ์ คำราม  
นางสาวพีรณัฐ ยศดี  
นางสาวเยาวลักษณ์ หน่อแก้ว

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้ขบ

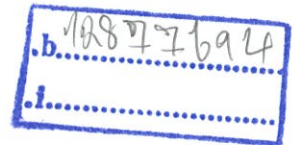
STUDY ON THE WATER QUALITY AND NUTRIENT ENRICHMENT IN  
TAKHEKOB CANAL



T148962

นางสาวธนภรณ์ คำราม  
นางสาวพีรณัฐ ยศดี  
นางสาวเยาวลักษณ์ หน่อแก้ว

เลขหมู่.....148962  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....1 8 S.A. 2560



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

STUDY ON THE WATER QUALITY AND NUTRIENT ENRICHMENT IN  
TAKHEKOB CANAL

MISS TANAPORN	KHAMRAM
MISS PEERANOOCH	YOSDEE
MISS YAOVALUK	NORKAEW




A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข็บ  
Study on the Water quality and nutrient enrichment in  
Takhekob canal

ชื่อนักศึกษา นางสาวธนภรณ์ คำราม 55050923  
นางสาวพีรณช ยศดี 55050968  
นางสาวเยาวลักษณ์ หน่อแก้ว 55050977

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
อ.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลอง ตะเข้ขบ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรณภรณ์	คำราม	55050923
	นางสาวพีรณุช	ยศดี	55050968
	นางสาวเยาวลักษณ์	หน่อแก้ว	55050977
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้ขบ โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูร้อนมาวิเคราะห์หาลักษณะทางเคมีของน้ำ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงฤดูฝน เพื่อวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำ กลางน้ำ และท้ายน้ำ โดยใช้ดัชนีชี้วัดของคาร์ลสันมาเป็นเกณฑ์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร จากผลการทดลองพบว่า ลักษณะน้ำในคลองตะเข้ขบจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเสื่อมโทรมมาก ในขณะที่การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารอยู่ในระดับขั้นที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก (Hypereutrophic) และคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในระดับขั้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (Mesotrophic) ดังนั้นแหล่งน้ำควรได้รับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการลดปริมาณสารอาหารทั้งที่มาจากภายนอกและภายในแหล่งน้ำ

คำสำคัญ : คุณภาพน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร คลองตะเข้ขบ

Special Project Title	Study on the water quality and nutrient enrichment in Takhekob canal		
Students	MS. TANAPORN	KHAMRAM	55050923
	MS. PEERANOOCH	YOSDEE	55050968
	MS. YAOVALUK	NORKAEW	55050977
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry, Faculty of Science KMITL		
Academic Year	2015		
Advisor	Assistance Professor Pitsamai Chairat-utai		

### Abstract

This special project intends to study water qualities and nutrient enrichment at the Takhekob canal. The water samples were collected during summer and rainy season. The samples were collected at upstream, middle stream and downstream of the canal. Water qualities were analyzed and compared with the standard of water quality in surface water and using Carlson index as a criteria for trophic status. The result shown that water qualities and water status of the Takhekob canal are highly deteriorated. Water qualities of Takhekob canal is classified as the fifth category surface water with is deteriorated. The excess values of nutrient were classified into the Hypertrophic, the values of Chlorophyll-a were classified into the Mesotrophic. So the amount of nutrients should be decreased by simultaneously reducing the nutrients from exogenous sources and endogenous sources.

**Keywords :** Water Quality, nutrient enrichment, Takhekob canal

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้ขบเล่มนี้ สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงกราบขอบพระคุณอย่างมากมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิชาการค้นคว้าทุกขั้นตอนเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ อาจารย์กสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำและการปรับปรุงการทำโครงการพิเศษ

ขอกราบขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านของหลักสูตรเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้จัดทำ กราบขอบคุณ ผศ.สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์ ที่ได้ให้ความรู้ความเข้าใจวิชาสถิติที่สามารถนำมาใช้ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ เจ้าหน้าที่ของคณะวิทยาศาสตร์สาขาเคมีที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ประสานงาน อำนวยความสะดวกด้วยอัธยาศัยไมตรีที่ดีเยี่ยม และขอขอบคุณเพื่อนร่วมหลักสูตรเคมีสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน	3
2.1.1 ประเภทคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน	3
2.1.2 ดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป	6
2.2 ยูโทรฟิเคชัน	10
2.2.1 นิยามของยูโทรฟิเคชัน	10
2.2.2 การเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำนิ่ง	11
2.2.3 ผลกระทบจากการเกิดยูโทรฟิเคชัน	11
2.2.4 การเกิดยูโทรฟิเคชันในประเทศไทย	12
2.3 แหล่งที่มาของสารอาหารและปัจจัยจำกัด	13
2.3.1 แหล่งที่มาของสารอาหาร	13
2.3.2 ปัจจัยจำกัด	14
2.4 สถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนิ่ง	16
2.5 การป้องกันและแก้ไขการเกิดยูโทรฟิเคชัน	20
2.5.1 การควบคุมฟอสฟอรัสจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ทราบจุดกำเนิด	21
2.5.2 การควบคุมฟอสฟอรัสจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ไม่ทราบจุดกำเนิด	23
2.5.3 การควบคุมสารอาหารจากภายในแหล่งน้ำนิ่ง	24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 เครื่องมืออุปกรณ์	28
3.2 สารเคมี	28
3.3 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	29
3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำ	29
3.5 การดำเนินการวิจัย	30
3.5.1 การศึกษาลักษณะน้ำทางกายภาพและเคมี	30
3.5.2 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	30
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	33
4.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี	33
4.2 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร	35
4.2.1 สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพบริเวณที่ศึกษา	35
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพ	36
4.2.3 ลักษณะทางเคมี	37
4.2.4 การจัดระดับชั้นของสารอาหารในแหล่งน้ำ	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์	48
ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง	57
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ทางสถิติ	65

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ DO เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ	7
รูปที่ 2.2 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ BOD เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ	7
รูปที่ 2.3 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ TCB เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ	8
รูปที่ 2.4 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ FCB เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ	9
รูปที่ 2.5 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ $\text{NH}_3\text{-N}$ เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ	9
รูปที่ 2.6 TN/TP ratio และความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ	16
รูปที่ 3.1 การศึกษาลักษณะน้ำทางกายภาพและเคมี	30
รูปที่ 3.2 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	31
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของคลองตะเข็บในช่วงฤดูร้อน	35
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ	39
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ	39
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ	40
รูปที่ 4.5 การแบ่งระดับชั้นของสารอาหาร $\text{TSI}_{\text{SD}}$ $\text{TSI}_{\text{TP}}$ $\text{TSI}_{\text{TN}}$ $\text{TSI}_{\text{Chl-a}}$	40

# สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	4
ตารางที่ 2.2	ค่าประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตาม WQI	6
ตารางที่ 2.3	สูตรสมการในการคิดคะแนนของ DO	7
ตารางที่ 2.4	สูตรสมการในการคิดคะแนนของ BOD	8
ตารางที่ 2.5	สูตรสมการในการคิดคะแนนของ TCB	8
ตารางที่ 2.6	สูตรสมการในการคิดคะแนนของ FCB	9
ตารางที่ 2.7	สูตรสมการในการคิดคะแนนของ NH <sub>3</sub> -N	10
ตารางที่ 2.8	ตัวอย่างคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนิ่งที่สำคัญของประเทศไทย	13
ตารางที่ 2.9	การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ปัจจัยต่างๆ	19
ตารางที่ 2.10	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของการเลือกใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ	19
ตารางที่ 2.11	ประมาณการค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย	22
ตารางที่ 3.1	จุดเก็บตัวอย่างในคลองตะเข้ขบ	29
ตารางที่ 3.2	วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	31
ตารางที่ 4.1	คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี	33
ตารางที่ 4.2	แสดงสภาพภูมิอากาศและสภาพแหล่งน้ำในคลองตะเข้ขบ	36
ตารางที่ 4.3	ลักษณะทางกายภาพ	36
ตารางที่ 4.4	ลักษณะทางเคมี	37
ตารางที่ ข-1	การศึกษาคุณภาพน้ำในคลองตะเข้ขบ	58
ตารางที่ ข-2-1	ความลึกของน้ำ	59
ตารางที่ ข-2-2	ความเป็นกรด-ด่าง	59
ตารางที่ ข-2-3	อุณหภูมิของน้ำ	59
ตารางที่ ข-2-4	ออกซิเจนละลายน้ำ	60
ตารางที่ ข-2-5	การนำไฟฟ้า	60
ตารางที่ ข-2-6	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	60
ตารางที่ ข-2-7	ความเค็ม	61
ตารางที่ ข-2-8	ซีโอดี	61
ตารางที่ ข-2-9	ทีเคเอ็น	61
ตารางที่ ข-2-10	ไนเตรตไนโตรเจน	62
ตารางที่ ข-2-11	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	62

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-2-12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	62
ตารางที่ ข-2-13 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต	63
ตารางที่ ข-2-14 สภาพต่าง	63
ตารางที่ ข-2-15 ความสามารถในการส่องผ่านของแสง	63
ตารางที่ ข-2-16 ความขุ่น	64
ตารางที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับ คลอโรฟิลล์ เอ	66
ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่องผ่านของแสง กับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	66
ตารางที่ ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ	67
ตารางที่ ค-4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับ คลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	67
ตารางที่ ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ	68
ตารางที่ ค-6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับ คลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	68

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BOD	ความสกปรกในรูปอินทรีย์
Chl-a	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ
DO	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ
°C	องศาเซลเซียส
EC	การนำไฟฟ้า
FCB	แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม
NH <sub>3</sub> -N	แอมโมเนียไนโตรเจน
NO <sub>3</sub> -N	ไนเตรท-ไนโตรเจน
M	เมตร
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
MT/yr	เมตริกตันต่อปี
NTU	หน่วยวัดความขุ่น
SD	ความสามารถในการส่องผ่านของแสง
pH	ความเป็นกรดและด่าง
Ppt	ปริมาณตัวถูกละลายในสารละลายล้านล้านส่วน
PO <sub>4</sub> -P	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต
TCB	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด
T	อุณหภูมิ
TDS	ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด
TKN	ปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจน
TN	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
TP	ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด
TSI	ดัชนีชี้วัดสถานะความอุดมสมบูรณ์
µg/l	ไมโครกรัมต่อลิตร
µs/cm	ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร
WQI	เกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและและความสำคัญของงานวิจัย

คลองในกรุงเทพมหานคร มีจำนวนทั้งหมด 1,161 สายคลอง ซึ่งเป็นคลองในพื้นที่เขต ประเวศมีจำนวน 34 สายคลอง คลองตะเข้ขบเป็นอีกหนึ่งคลองสำคัญที่อยู่ในพื้นที่เขตประเวศ ลักษณะของที่อยู่อาศัยจะตั้งอยู่สองฝั่งคลอง ปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ชุมชน ขยายตัว คลองถูกใช้เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งทั้งจากชุมชน ทั้งจากบ้านเรือน แปลงเกษตร และบ่อเลี้ยง ปลา โดยเฉพาะในช่วงฝนตก น้ำฝนจะชะล้างสารอาหารส่วนเกินที่ตกค้างบนแปลงเกษตร รวมทั้งเศษ ขยะบริเวณชุมชนไหลลงสู่ลำคลอง ซึ่งสารอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะส่งผลทำให้เกิด การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้แหล่งน้ำได้รับสารอาหารในปริมาณมาก และรวดเร็ว จนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ หรือที่เรียกว่า มลพิษจากสารอาหาร (nutrient pollution) ซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication; Algae bloom)” หรือ “ปรากฏการณ์การน้ำเปลี่ยนสี” ซึ่งทำให้สูญเสียภาวะสมดุลของระบบนิเวศ และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น ปลาไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เพราะแหล่งน้ำขาด ออกซิเจนในตอนกลางคืน เนื่องจากการหายใจของแพลงก์ตอนพืช รวมทั้งสาหร่ายที่เจริญเติบโตเป็น จำนวนมาก สาหร่ายบางชนิดอาจเป็นอันตรายต่อการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ (สุวัจน์, 2557)

ในปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีนโยบายที่จะพัฒนาคุณภาพน้ำในลำคลองเพื่อให้สามารถใช้ ประโยชน์จากลำคลองได้มากขึ้น เช่น ปลูกพืชน้ำ ใช้พืชเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจใน การตรวจคุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหารที่สะสมในระบบซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทร- ฟิเคชันในคลองตะเข้ขบ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในคลองตะเข้ขบเพื่อจำแนกประเภทตามเกณฑ์ มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
- 2) เพื่อศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในคลองตะเข้ขบ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) การประเมินคุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมีตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน และเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป (WQI) ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจน (DO) บีโอดี (BOD) และแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )
- 2) การประเมินและการตรวจสอบสภาวะยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำตามดัชนีชี้วัดของคาร์ลสัน (Carlson's Trophic State Index: TSI) ได้แก่ ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (SD) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (TP) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl-a)
- 3) ระยะเวลาที่ศึกษาในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นฤดูฝน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำผลการศึกษาที่ได้เป็นข้อมูลในการพัฒนาคลองของกรุงเทพมหานคร

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 คุณภาพของแหล่งน้ำผิวดิน

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องดังนี้

“สิ่งแวดล้อม” หมายความว่า สิ่งต่างๆที่มีลักษณะทางกายภาพและชีวภาพที่อยู่รอบตัวมนุษย์ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์ได้ทำขึ้น

“คุณภาพสิ่งแวดล้อม” หมายความว่า คุณภาพของธรรมชาติอันได้แก่ สัตว์ พืช และทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ และสิ่งที่มนุษย์ได้ทำขึ้นทั้งนี้เพื่อประโยชน์ของการดำรงชีวิตของประชาชนและความสมบูรณ์สืบไปของมนุษยชาติ

“มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม” หมายความว่า ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ อากาศ เสียง และสภาวะอื่นๆของสิ่งแวดล้อมซึ่งกำหนดเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

“ภาวะมลพิษ” หมายความว่า สภาวะที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงหรือปนเปื้อนโดยมลพิษซึ่งทำให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษในดิน

“แหล่งน้ำผิวดิน” หมายความว่า แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ ที่อยู่ภายในผืนแผ่นดิน ซึ่งหมายความรวมถึงแหล่งสาธารณะที่อยู่ภายในผืนแผ่นดินบนเกาะด้วย แต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ติดกับทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ภายในปากแม่น้ำหรือปากทะเลสาบ ปากแม่น้ำและปากทะเลสาบให้ถือแนวเขตตามที่กรมเจ้าท่ากำหนด

#### 2.1.1 ประเภทคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพรบ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินโดยได้แบ่งประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

แหล่งน้ำประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำแหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(ข) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(ค) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(ค) การประมง

(ง) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การเกษตร

แหล่งน้ำประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(ข) การอุตสาหกรรม

แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคม

กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่า	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
		ทาง		1	2	3	4	5
		สถิติ						
1.	สี กลิ่น และรส (Color, Odor and Taste)		-	๕	๕	๕	๕	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)		°C	๕	๕	๕	๕	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)		-	๕	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)	P20	มก./ล.	๕	≥6.0	≥4.0	≥2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	P80	มก./ล.	๕	≤1.5	≤2.0	≤4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี. เอ็น/ 100 มล.	๕	≤5,000	≤20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	"	๕	≤1,000	≤4,000	-	-
8.	ไนโตรท-ไนโตรเจน		มก./ล.	๕		≤5.0		-

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่า	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
		ทาง		1	2	3	4	5
		สถิติ						
9.	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH <sub>3</sub> -N)	”		๕		≤0.5		-
10.	ฟีนอล (Phenols)	”		๕		≤0.005		-
11.	ทองแดง (Cu)	”		๕		≤0.1		-
12.	นิกเกิล (Ni)	”		๕		≤0.1		-
13.	แมงกานีส (Mn)	”		๕		≤1.0		-
14.	สังกะสี (Zn)	”		๕		≤1.0		-
15.	แคดเมียม (Cd)	”		๕		≤0.005*		-
						≤0.05**		
16.	โครเมียมชนิดเฮกซะวา เล็นซ์ (Cr Hexavalent)	”		๕		≤0.05		-
17.	ตะกั่ว (Pb)	”		๕		≤0.05		-
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)	”		๕		≤0.002		-
19.	สารหนู (As)	”		๕		≤0.01		-
20.	อัลดริน (Aldrin)	”		๕		≤0.1		-
21.	เฮปตาคลอร์และเฮปตา คลออีพอกไซด์ (Heptachlor&Heptachl orepoxide)	”		๕		≤0.2		-
22.	เอนดริน (Endrin)	”		๕		ไม่สามารถตรวจพบได้ตาม วิธีการตรวจสอบที่กำหนด		-

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2552

หมายเหตุ : ๕ เป็นไปตามธรรมชาติ  
๕ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส  
\* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO<sub>3</sub> ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร  
\*\* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO<sub>3</sub> เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร  
≥ มากกว่าเท่ากับ  
≤ น้อยกว่าเท่ากับ  
- ไม่ได้กำหนด  
°C องศาเซลเซียส  
P20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลท์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบ  
อย่างต่อเนื่อง

P80	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบ อย่างต่อเนื่อง
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล.	มิลลิกรัม
มคก.	ไมโครกรัม
MPN	เอ็ม.พี.เอ็น. หรือ Most Probable Number

### 2.1.2. ดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป (General Water Quality Index)

ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ได้พัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อใช้ในการสื่อสารเผยแพร่คุณภาพน้ำให้แก่ประชาชนทั่วไป โดยมีการพัฒนามาจากดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (WQI) ที่มีหน่วยคะแนนเป็น 0-100 คะแนน แล้วนำมาเปรียบเทียบการคำนวณกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน 5 ดัชนี ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ความสกปรกในรูปอินทรีย์ (Biological Oxygen Demand: BOD) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria: FCB) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen: NH<sub>3</sub>-N) โดยมีเกณฑ์การประเมินคุณภาพน้ำตาม WQI เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำและค่าประเมินคุณภาพน้ำแสดงดังตารางที่ 2.2

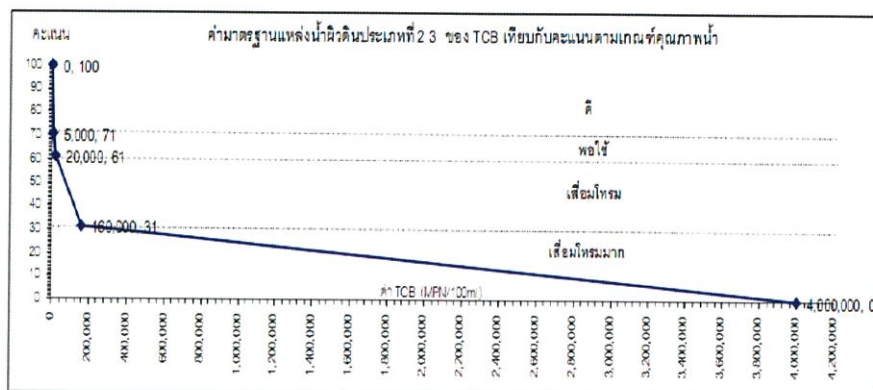
ตารางที่ 2.2 ค่าประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตาม WQI

เกณฑ์คุณภาพน้ำ	คะแนนรวม	เทียบกับแหล่งน้ำผิวดินประเภท
ดี	71-100	2
พอใช้	61-70	3
เสื่อมโทรม	31-60	4
เสื่อมโทรมมาก	0-30	5

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

การคิดคะแนนของแต่ละดัชนีมาจากเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 ประกอบกับการประมวลผลทางสถิติของคุณภาพแหล่งน้ำในประเทศไทย การคำนวณคะแนนของดัชนีต่างๆ มีสมการดังนี้

### 2.1.2.1 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)



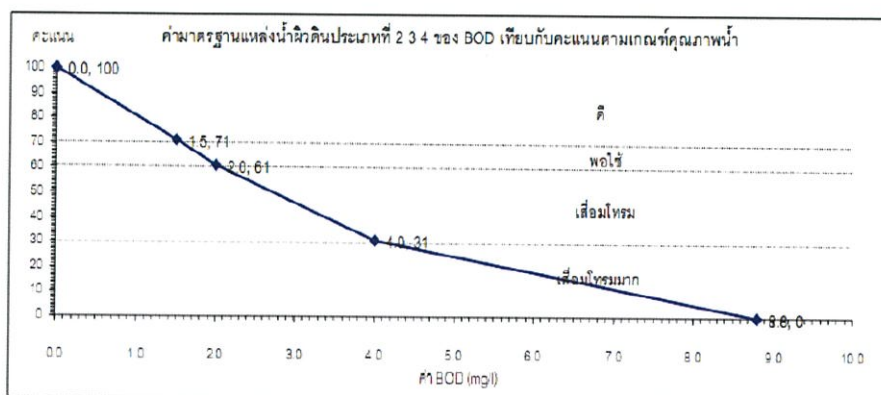
รูปที่ 2.1 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ DO เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

### ตารางที่ 2.3 สูตรสมการในการคิดคะแนนของ DO

ค่า DO (mg/L)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0-4.0	$15.25 \times (\text{ค่า DO}) + 0.1667$
4.1-6.0	$5 \times (\text{ค่า DO}) + 41$
6.1-8.4	$12.083 \times (\text{ค่า DO}) - 1.5$
8.5-8.9	$-78 \times (\text{ค่า DO}) + 755.2$
9.0-11.2	$-13.043 \times (\text{ค่า DO}) + 177.09$
11.3-( $\geq 15.3$ )	$-7.561 \times (\text{ค่า DO}) + 115.68$

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

### 2.1.2.2 ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Demand, BOD)



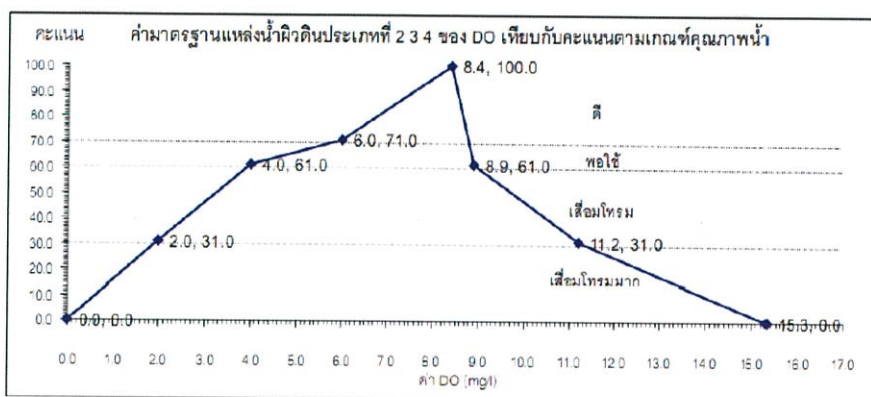
รูปที่ 2.2 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ BOD เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

## ตารางที่ 2.4 สูตรสมการในการคิดคะแนน BOD

ค่า BOD (mg/L)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 - 1.5	$-19.333 \times (\text{ค่า BOD}) + 100$
1.6 - 2.0	$-20 \times (\text{ค่า BOD}) + 101$
2.1 - 4.0	$-15 \times (\text{ค่า BOD}) + 91$
4.1 - ( $\geq 8.8$ )	$-6.4583 \times (\text{ค่า BOD}) + 56.833$

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

### 2.1.2.3 แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB)



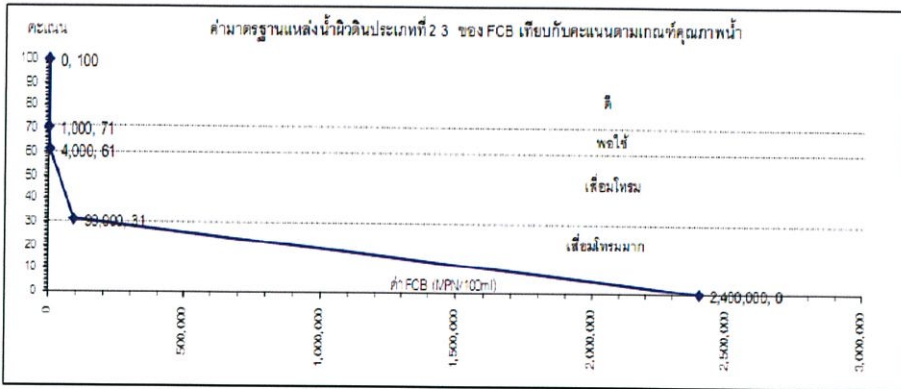
รูปที่ 2.3 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ TCB เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

## ตารางที่ 2.5 สูตรสมการในการคิดคะแนนของ TCB

ค่า TCB (MPN/100ml)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 - 5,000	$-0.0058 \times (\text{ค่า TCB}) + 100$
5,100 - 20,000	$-0.0007 \times (\text{ค่า TCB}) + 74.333$
21,000 - 160,000	$-0.0002 \times (\text{ค่า TCB}) + 65.286$
> 160,000	$-8E-0.6 \times (\text{ค่า TCB}) + 32.292$

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

### 2.1.2.4 แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB)



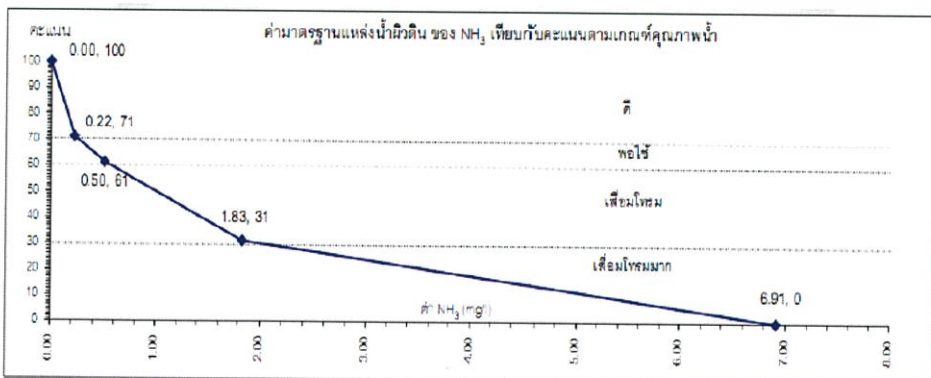
รูปที่ 2.4 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ FCB เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

### ตารางที่ 2.6 สูตรสมการในการคิดคะแนนของ FCB

ค่า FCB (MPN/100ml)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 - 1,000	$-0.029 \times (\text{ค่า FCB}) + 100$
1,001 - 4,000	$-0.0033 \times (\text{ค่า FCB}) + 74.333$
4,001 - 90,000	$-0.0003 \times (\text{ค่า FCB}) + 62.395$
> 90,000	$-1E-0.5 \times (\text{ค่า FCB}) + 32.208$

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

### 2.1.2.5 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen, NH<sub>3</sub>-N)



รูปที่ 2.5 ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินของ NH<sub>3</sub>-N เปรียบเทียบกับคะแนนตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ตารางที่ 2.7 สูตรสมการในการคิดคะแนนของ  $\text{NH}_3\text{-N}$ 

ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 0.22	$-131.82 \times (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 100$
0.23 – 0.50	$-35.714 \times (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 78.857$
0.51 – 1.83	$-22.556 \times (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 72.278$
>1.83	$-6.1024 \times (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 42.167$

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554.

ในส่วนของคะแนนพิเศษ เป็นการนำค่าคะแนนเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำ หากผลการประเมินค่าเฉลี่ย พบว่า ไม่สอดคล้องกับค่ามาตรฐาน จะใช้ค่าคะแนนพิเศษปรับให้อยู่ ในช่วงค่ามาตรฐานระดับเดียวกัน โดย หากคุณภาพน้ำไม่ต่างกัน คะแนนพิเศษ = 0, ถ้าต่างกัน 1 ระดับ คะแนนพิเศษ = 10, ถ้าต่างกัน 1 ระดับ คะแนนพิเศษ = 15, ถ้าต่างกัน 3 ระดับ คะแนนพิเศษ = 20

## 2.2 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

### 2.2.1. นิยามของยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

คำว่า “Eutrophication” มาจากรากศัพท์ของภาษากรีกระหว่างคำว่า “Eu” ซึ่งแปลว่า มาก รวมกับคำว่า “Trope” ซึ่งแปลว่า การบำรุงด้วยอาหาร

มีผู้ให้คำนิยามของคำว่า “ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)” ไว้ค่อนข้างหลากหลาย อย่างเช่น Mason (1991) ได้ให้คำนิยามของยูโทรฟิเคชันไว้ว่า “ความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารของพืชที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ของแหล่งน้ำ”

Harper (1992) กล่าวว่า “ยูโทรฟิเคชันเป็นคำที่ใช้อธิบายผลกระทบทางชีววิทยาของการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารพืชต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ”

โครงการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ให้ความหมายของยูโทรฟิเคชันไว้ว่า “สภาพที่น้ำมีสีเขียว เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของสาหร่ายเซลล์เดียว”

OSPAR (2001) ได้ให้ความหมายของคำว่ายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) การเพิ่มธาตุอาหารในรูปสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กและขนาดใหญ่อย่างรวดเร็ว จนเป็นอันตรายต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำ รวมถึงสภาวะการปล่อยธาตุอาหารลงสู่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะจากการเกษตรกรรม

จากคำจำกัดความข้างต้นสามารถสรุปความหมายของยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ได้นอกจากเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารและสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำแล้ว ยังรวมถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตเบื้องต้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตอันเนื่องมาจากแหล่งน้ำอยู่ในสภาวะที่มีกำลังผลิตสูงมากเกินกว่าปกติอันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในรูปอนินทรีย์ในโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen and Phosphorus) จากแหล่งต่างๆ เช่น

การชะล้างจากพื้นดินอากาศทะเลในพื้นที่ใกล้เคียงรวมถึงการเพิ่มสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N/P ratio)

### 2.2.2 การเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำนิ่ง

การเกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) หรือการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืด เช่น ตามคูคลอง หนอง บึง แหล่งน้ำนิ่ง หรืออ่างเก็บน้ำ ถือเป็นปัญหามลพิษทางน้ำที่สำคัญที่เกิดขึ้นทุกทวีปทั่วโลก สาเหตุหลักของปัญหามาจากแหล่งน้ำได้รับสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ในปริมาณมากจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ จนไปกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช โดยธรรมชาติแล้ว แหล่งน้ำต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพตามระยะเวลา หรือที่เรียกกันว่า succession โดยแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะค่อยๆ พัฒนาไปเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาตินั้นจะใช้ระยะเวลายาวนานหลายสิบปีถึงหลายร้อยปี แต่ในปัจจุบันผลจากการพัฒนาต่างๆ ได้ส่งผลให้แหล่งน้ำได้รับสารอาหารในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำหรือที่เรียกว่า มลภาวะจากสารอาหารพืช (nutrient pollution) นักวิทยาศาสตร์ประเมินว่าแหล่งน้ำที่เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 40  $\mu\text{g/l}$  และถ้าเมื่อใดก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าสูงกว่า 100  $\mu\text{g/l}$  ปลาในแหล่งน้ำมีโอกาสจะตายได้สูง เพราะแหล่งน้ำขาดออกซิเจนจากกระบวนการหายใจของแพลงก์ตอนพืชในช่วงกลางคืน (Florida Lake Watch, 2007)

### 2.2.3 ผลกระทบจากการเกิดยูโทรฟิเคชัน

การบลูมของแพลงก์ตอนพืช ก่อให้เกิดปัญหาทางลบมากมาย ปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปัญหาต่อระบบนิเวศเนื่องจากแหล่งน้ำขาดออกซิเจน โดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืนที่พืชและแพลงก์ตอนพืชมีการหายใจโดยใช้ออกซิเจนในน้ำ ทำให้สัตว์น้ำขาดอากาศหายใจ อีกทั้งเมื่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่บลูมตายลงพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดการย่อยสลายและทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมจนถึงเน่าเสีย จนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งยังอาจเกิดโรคขึ้นตามมาอีกด้วย (Meybeck *et al.*, 1996) สำหรับแหล่งน้ำที่เป็นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การเลี้ยงปลาในกระชังตามหนองน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ การเกิดแพลงก์ตอนบลูม ทำให้ปลาในกระชังตายได้จากการที่น้ำเน่าเสีย และเกษตรกรต้องสูญเสียรายได้จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Smith and Schindler, 2009)

นอกจากนั้นตามแหล่งน้ำขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำ การบลูมของแพลงก์ตอนพืชบางชนิดมีสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เมื่อบลูมพร้อมกันในปริมาณมากอาจทำให้แหล่งน้ำนั้นสูญเสียทัศนียภาพและความสวยงามด้านการพักผ่อนหย่อนใจ และทำให้ไม่สามารถทำกิจกรรมทางน้ำในรูปแบบต่างๆ เช่น การว่ายน้ำ การดำน้ำ การบลูมของแพลงก์ตอนพืชยังส่งผลต่อการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำนั้น (Moss *et al.*, 1997) เพราะสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิต หรืออาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเป็นเฉพาะกลุ่มที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรม แพลงก์ตอนพืชที่บลูมหนาแน่นเป็นแผ่นๆ บริเวณผิวน้ำจะไปบดบังแสงทำให้น้ำขุ่น และกันไม่ให้แสงส่องผ่านมายังได้พื้นท้องน้ำ ทำให้ไป

จำกัดการเจริญเติบโตของพืชใต้น้ำ และประการสุดท้าย แหล่งน้ำที่เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชจะต้องมีการบำบัด ดังนั้นจะทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการป้องกันการบำบัด และฟื้นฟูให้แหล่งน้ำนั้นสามารถกลับมาใช้ประโยชน์ได้เหมือนเดิม (Walker, 1983; Dodds *et al.*, 2009)

#### 2.2.4 การเกิดยูโทรฟิเคชันในประเทศไทย

ประเทศไทยถือเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีการเกิดยูโทรฟิเคชัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลเชิงวิชาการที่ตีพิมพ์ผลการเกิดยูโทรฟิเคชันตามแหล่งน้ำต่างๆ มากนัก รวมถึงยังขาดข้อมูลการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำด้วย สำหรับข้อมูลการเกิดยูโทรฟิเคชันในประเทศไทยที่พอจะรวบรวมมีดังนี้ (รัฐชา และ พงษ์ศักดิ์, 2557)

**ภาคเหนือ** จังหวัดเชียงใหม่ มีรายงานการพบแพลงก์ตอนพืชชนิด *Microcystis aeruginosa* จำนวนมากที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา โดยแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้สามารถผลิตสารพิษกลุ่มไมโครซิสติน (microcystin) ได้ (ธีรศักดิ์, 2540)

**ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ** จากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10 ระบุว่าในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมีแหล่งน้ำหลายแห่งที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน เช่น หนองซอแงว ในพื้นที่ตำบลศิลา อำเภอมือเกิด การบลูมของแพลงก์ตอนพืชเป็นอย่างมาก สาเหตุเพราะหนองซอแงวเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งชุมชนและไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย หรือที่บริเวณบึงหนองโคตรในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านเป็ด อำเภอมือเมือง ซึ่งเป็นหนองน้ำขนาดใหญ่และเป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากชุมชนเช่นเดียวกัน พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบลูมอย่างมาก เมื่อแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้ตายลงส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นค่อนข้างรุนแรงหรือบริเวณแหล่งท่องเที่ยวตากตากโดน จังหวัดชัยภูมิ ที่พบปัญหาการบลูมของแพลงก์ตอนพืช แต่สถานการณ์ยังไม่รุนแรงมากนัก หากในอนาคตไม่มีการแก้ไขอาจส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวได้ (ชัยวัฒน์, 2554) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีรายงานการเกิดยูโทรฟิเคชันในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง ในปี 2541 ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา (หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2554)

**ภาคกลาง** มีรายงานการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำห้วยสงสัย ตำบลเขากระปุก อำเภอยาง จังหวัดเพชรบุรี (ภาสพล และคณะ, 2555; หนังสือพิมพ์เดลินิวส์, 2555) จากการศึกษาพบการบลูมของแพลงก์ตอนพืชสกุล *Auracoseira* บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในอ่างเก็บน้ำบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (Chaichana *et al.*, 2003)

**ภาคใต้** มีรายงานการเกิดยูโทรฟิเคชันทั้งบริเวณทะเลหลวง แหล่งน้ำนิ่งตอนกลาง และแหล่งน้ำนิ่งตอนนอกของทะเลสาบสงขลา โดยเฉพาะบริเวณทะเลหลวงที่พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุด (นิคม และ ยงยุทธ, 2548)

นอกจากนี้ยังมีการรวบรวมคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำนิ่งที่สำคัญของประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำนิ่งส่วนใหญ่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาขององค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US EPA) ที่กล่าวไว้ว่า ถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

สูงกว่า 30 µg/l ถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชสูง และมีผลต่อการบดบังแสงสำหรับพืชที่ขึ้นอยู่ใต้น้ำได้ ซึ่งจากข้อมูลในตาราง 2.8 นี้มีเพียงบึงบอระเพ็ดและหนองหานเท่านั้นที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำกว่า 30 µg/l

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย

แหล่งน้ำ	คุณภาพน้ำที่สำคัญ			
	ออกซิเจนละลาย น้ำ (mg/l)	คลอโรฟิลล์ เอ (µg/l)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (mg/l)	ความโปร่งแสง (m)
กว๊านพะเยา	6.3-9.7	66.90	0.02-0.24	0.4-1.0
บึงบอระเพ็ด	7.7	13.31	0.11	0.47
หนองหาน	6.6-9.2	3.11	0.05-0.51	0.29
แหล่งน้ำนึ่ง สงขลา	3.8	150-300	0.31-0.78	-
ทะเลน้อย	2.3-10.6	4-127.5	0.13-2.64	-
บึงแก่นนคร	9.82	238.6	0.20	0.17
บึงโครต	10.41	81.8	0.20	31
หนองซอแมว	11.5	90.7	0.22	0.40

แหล่งที่มา: อัคร, 2553

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันในประเทศไทยเกิดขึ้นในแหล่งน้ำทั่วทุกภูมิภาค และส่วนใหญ่ยังเกิดในแหล่งน้ำที่มีความสำคัญต่อการอุปโภคบริโภคของประชาชน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมถึงประชาชนจะต้องร่วมมือกันในการหามาตรการเฝ้าระวัง ป้องกัน รวมถึงการแก้ไขฟื้นฟูแหล่งน้ำที่มีการบลูมของแพลงก์ตอนพืช เพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้น และสามารถใช้ประโยชน์ได้เหมือนเดิม

## 2.3 แหล่งที่มาของสารอาหารและปัจจัยจำกัด

### 2.3.1 แหล่งที่มาของสารอาหาร

#### 2.3.1.1 แหล่งที่มาจากภายนอกแหล่งน้ำนึ่ง

แหล่งกำเนิดสารอาหารที่มาจากภายนอกแหล่งน้ำนึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แหล่งที่มาที่ทราบจุดกำเนิดที่แน่นอน (point source) และแหล่งที่มาแบบกระจายหรือไม่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน (non point หรือ diffuse source) ในอดีตแหล่งที่มาของสารอาหารที่ลงสู่แหล่งน้ำนึ่งแบบที่ทราบจุดกำเนิดที่แน่นอน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม มีบทบาทสำคัญมากที่ก่อให้เกิดปัญหา

ยูโทรฟิเคชันทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ปล่อยออกมาจากท่อน้ำทิ้งนั้นมีความเข้มข้นสูงมาก อาจถึงหลายสิบหรือหลายร้อยเท่าของสารอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติ ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงทำให้หลายประเทศออกกฎหมายควบคุมและกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและบังคับให้โรงงานอุตสาหกรรมติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยมีมาตรการติดตามตรวจสอบของภาครัฐที่เข้มงวดและมีบทลงโทษทางกฎหมายที่เข้มงวดและชัดเจนจึงทำให้ปัญหายูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้นจากสารอาหารที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ทราบจุดกำเนิดแน่นอนนั้นลดลง

ในทางตรงกันข้ามแหล่งที่มาของสารอาหารแบบกระจายหรือไม่ทราบจุดกำเนิดแน่นอนกลับกลายเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960s หรือช่วงปี พ.ศ. 2500 เป็นต้นมา ที่มีการเพิ่มผลผลิตจากภาคเกษตรกรรมโดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส น้ำฝนและน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินจากแปลงเกษตรกรรมได้ชะล้างสารอาหารส่วนเกินที่ตกค้างบนพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำและก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในหลายประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในทวีปยุโรปพบว่า พื้นที่เกษตรกรรมได้ขยายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสารอาหารที่ลงสู่แหล่งน้ำนั้น พบว่า ร้อยละ 60-80 มาจากพื้นที่เกษตรกรรม ส่วนประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสารอาหารที่ลงสู่แหล่งน้ำมาจากพื้นที่เกษตรกรรมถึงร้อยละ 57 (Ongley, 1996; Min and Jiao, 2002)

ในส่วนของประเทศไทย พบว่า น้ำเสียจากชุมชนเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลัก ในภาพรวมของประเทศ คิดเป็นร้อยละ 70 หรือประมาณ  $14.8 \text{ m}^3/\text{day}$  อีกทั้งยังมีการจัดการไม่เพียงพอและไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ โดยเฉพาะชุมชนขนาดใหญ่หรือชุมชนที่ตั้งอยู่ริมน้ำที่มีการระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง เช่น บ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร หอพัก ตลาดชุมชน หรือตลาดเทศบาล เป็นต้น ส่วนปัญหาสารอาหารจากพื้นที่เกษตรกรรมก็ยังคงพบว่าเป็นปัญหาสำคัญเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะกิจการหลายประเภทยังขาดกฎหมายและมาตรการที่ชัดเจนในการควบคุมมลพิษ เช่น การเพาะปลูกหรือการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการทำปศุสัตว์ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

### 2.3.1.2 แหล่งที่มาจากภายในแหล่งน้ำนิ่ง

แหล่งกำเนิดสารอาหารที่มาจากภายในแหล่งน้ำนิ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แหล่งน้ำนิ่งเกิดความเสื่อมโทรม แหล่งที่มาของสารอาหารมาจากบริเวณชั้นดินตะกอนพื้นน้ำ โดยเฉพาะบริเวณริมชายฝั่งซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นตลอดเวลา มีการปลดปล่อยสารอาหารทั้งที่มาจากคาร์บอนของสิ่งมีชีวิต การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการปลดปล่อยสารอาหารจากปฏิกิริยาทางเคมีในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic condition)

### 2.3.2 ปัจจัยจำกัด

การศึกษาปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1934 โดยนักวิทยาศาสตร์ทางทะเลชื่อ เรดฟิลด์ (Redfield) ได้เดินทางสำรวจและเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชในทะเลลึกจากทุกพื้นที่ทั่วโลกแล้วนำตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชไม่ว่าจะเก็บตัวอย่างมาจากบริเวณใดจะมีค่าคงที่คือ C : N : P = 106 : 16 : 1 (ดังสมการ) และเรียกอัตราส่วนดังกล่าวนี้ว่า อัตราส่วนเรดฟิลด์ หรือ Redfield ratio ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของปริมาณธาตุที่พบในแพลงก์ตอนพืชนั้นสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณธาตุเหล่านั้นในธรรมชาติคือ คาร์บอนมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาด้วยไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่มีปริมาณน้อยที่สุด (Redfield, 1934)



จากที่มาและการค้นพบดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์ต่างๆทั่วโลก จึงได้ศึกษาปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืด ซึ่งก็พบว่ามียุทธศาสตร์ที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Redfield การพิจารณาว่าไนโตรเจน และ/หรือ ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดให้พิจารณาว่าสารอาหารตัวใดเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งในแหล่งน้ำจืดฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัดส่วนใหญ่ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแพลงก์ตอนพืช (รูปที่ 2.6) ดังนั้นการรู้ว่าสารอาหารตัวใดเป็นปัจจัยจำกัดจะสามารถนำมาใช้ในการควบคุมการบลูมของแพลงก์ตอนพืชได้

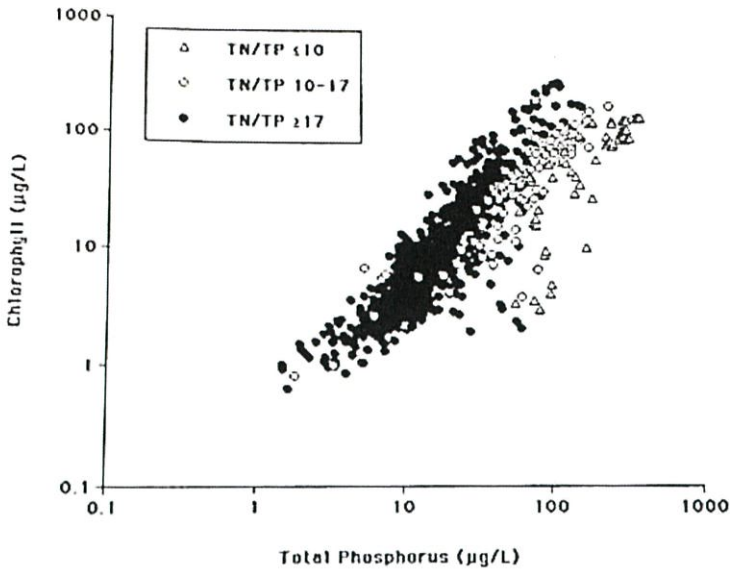
ปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดจากสารอาหารมี 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัด
- 2) ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด
- 3) ทั้งฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากสารอาหารก็สามารถจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้ด้วยเช่นกัน เช่น ซิลิกา ปริมาณของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำ hydraulic flushing rate และพีชน้ำที่ปกคลุมผิวน้ำมากกว่าร้อยละ 50 แต่ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีอิทธิพลน้อยกว่าปัจจัยสารอาหารพืช

การพิจารณาหาปัจจัยจำกัดมีแนวทางคือ การพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด (TN/TP ratio) และการพิจารณาจากค่า phosphorus threshold

ถ้าแหล่งน้ำมีอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำกว่า 10 แสดงว่าไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ถ้าแหล่งน้ำมีอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่าง 10-17 แสดงว่า ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีโอกาสเป็นปัจจัยจำกัดด้วยกันทั้งคู่ หากแหล่งน้ำมีอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่า 17 แสดงว่า ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัด



รูปที่ 2.6 TN/TP ratio และความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ  
(Florida Lake watch, 2007)

## 2.4 สถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนิ่ง

สถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนิ่ง หรือ trophic state สามารถสังเกตได้จากปริมาณสารอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส กล่าวคือ แหล่งน้ำที่ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เรียกว่า โอลิโกโทรฟิก (Oligotrophic) แหล่งน้ำที่มีความสมบูรณ์ปานกลาง เรียกว่า มีโซโทรฟิก (Mesotrophic) แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เรียกว่า ยูโทรฟิก (Eutrophic) และแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก เรียกว่า ไฮเปอร์ยูโทรฟิก (Hypereutrophic) การเปลี่ยนแปลงสถานะของแหล่งน้ำเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ โดยเริ่มจากแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและค่อยๆ พัฒนาไปจนถึงแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ซึ่งเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า succession จนในที่สุดแหล่งน้ำนิ่งก็เปลี่ยนสภาพเป็นระบบนิเวศบก สำหรับความหมายของความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำประเทศต่าง ๆ มีดังนี้

แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเป็นแหล่งน้ำที่มีผลผลิตเบื้องต้นต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากแหล่งน้ำมีปริมาณสารอาหารพืชต่ำไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืช บริเวณพื้นน้ำมีดินตะกอนหรือมีการสะสมของอินทรีย์วัตถุน้อย ปริมาณการกักเก็บน้ำสูง น้ำใส แสงแดดส่องลงไปได้ทั่วแหล่งน้ำ มีปริมาณออกซิเจนสูง ดังนั้นจะพบปลาชนิดที่ต้องการออกซิเจนสูง เช่น ปลาเทราต์ (trout) คุณภาพน้ำมีสภาพเหมาะสมจะใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค แหล่งน้ำประเภทนี้พบมากในประเทศเขตนหนาวหรือพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น หินอัคนี หินแกรนิต ซึ่งเกิดการกัดกร่อนได้ช้า หรือเป็นแหล่งน้ำที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมากนัก

แหล่งน้ำที่มีความสมบูรณ์ปานกลางเป็นแหล่งน้ำที่มีผลผลิตเบื้องต้นปานกลาง เริ่มมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น น้ำยังคงใสอยู่ มีการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในแหล่งน้ำจากพื้นที่โดยรอบ และเริ่มพบพืชใต้น้ำเจริญเติบโตอยู่บริเวณพื้นที่ตื้นน้ำเพราะมีการสะสมของดินตะกอนและสารอินทรีย์

แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมีผลผลิตเบื้องต้นและมีความหลากหลายของพืชและสัตว์สูง มีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำสูง มีการสะสมของดินตะกอนและสารอินทรีย์บริเวณพื้นที่ตื้นน้ำมากขึ้น ชั้นดินตะกอนหนา ทำให้ปริมาณการเก็บกักน้ำลดลง อีกทั้งยังมีพืชน้ำเจริญเติบโตมากทั่วแหล่งน้ำ ซึ่งอาจจะมีพืชน้ำหรือแพลงก์ตอนพืชเป็นชนิดเด่น ถ้ามีพืชน้ำเป็นชนิดเด่น น้ำในแหล่งน้ำจะใส แต่ถ้าแพลงก์ตอนพืชเป็นชนิดเด่น แหล่งน้ำจะขุ่น เพราะเกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืช

แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก มีผลผลิตทางชีวภาพสูงที่สุดและเกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชขึ้นบ่อยครั้ง น้ำขุ่นมาก ส่งผลให้ความโปร่งแสงน้อยกว่า 0.91 เมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่า 100 µg/l และมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่า 40 mg/l การบลูมของแพลงก์ตอนพืชส่งผลทำให้เกิด dead zone ในแหล่งน้ำได้ (โซนที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีเลย) โดยเฉพาะบริเวณระดับน้ำลึกๆ การบลูมของแพลงก์ตอนพืชอาจช่วยให้เกิดการเจือจางทางชีวภาพ (biodegradation) ซึ่งเกิดขึ้นโดยแพลงก์ตอนพืชดึงสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำลดลง แหล่งน้ำประเภทนี้มีปริมาณการเก็บกักน้ำต่ำและแหล่งน้ำตื้นเขิน

เกณฑ์การแบ่งระดับสถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และเกณฑ์ของ Organization for Economic Cooperation and Development หรือ O.E.C.D. (1982) มีดังนี้

เกณฑ์การแบ่งระดับสถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

- Oligotrophic	มีค่า TP ต่ำกว่า	15	µg/l
- Mesotrophic	มีค่า TP อยู่ระหว่าง	15-25	µg/l
- Eutrophic	มีค่า TP อยู่ระหว่าง	25-100	µg/l
- Hypereutrophic	มีค่า TP สูงกว่า	100	µg/l

เกณฑ์การแบ่งระดับสถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

- Oligotrophic	มีค่า TN ต่ำกว่า	400	µg/l
- Mesotrophic	มีค่า TN อยู่ระหว่าง	401-600	µg/l
- Eutrophic	มีค่า TN อยู่ระหว่าง	601-1,500	µg/l
- Hypereutrophic	มีค่า TN สูงกว่า	1,500	µg/l

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำยังสามารถใช้ความโปร่งแสง (transparency) เป็นตัวชี้วัดได้ ทั้งนี้เป็นเพราะแพลงก์ตอนพืชที่แขวนลอยในแหล่งน้ำส่งผลโดยตรงต่อค่าความโปร่งแสง

เกณฑ์การแบ่งระดับสถานะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ค่าความโปร่งแสง

- Oligotrophic	มีค่าความโปร่งแสงมากกว่า	3.96	m
- Mesotrophic	มีค่าความโปร่งแสงอยู่ระหว่าง	2.44-3.96	m
- Eutrophic	มีค่าความโปร่งแสงอยู่ระหว่าง	0.91-2.44	m
- Hypereutrophic	มีค่าความโปร่งแสงน้อยกว่า	0.91	m

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยอื่น ๆ นอกจากแพลงก์ตอนพืชก็สามารถทำให้ค่าความโปร่งแสงในแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน เช่น สารแทนนิน (tannin) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ มีสีออกแดงหรือน้ำตาล ตะกอนแขวนลอยในน้ำ (suspended solid) ซึ่งอาจเกิดจากการกวนตะกอนใต้พื้นน้ำหรืออาจเกิดจากชะล้างของดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นการใช้ความโปร่งแสงชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำต้องเกิดจากอิทธิพลแพลงก์ตอนพืชเท่านั้น

นอกจากนี้ยังมีดัชนีชี้วัดสถานะความอุดมสมบูรณ์ของคาร์ลสัน (Carlson's Trophic State Index: TSI) ซึ่งเป็นดัชนีที่นิยมในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (US Environmental Protection Agency: USEPA) โดยใช้ปัจจัยคำนวณได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และระดับความลึกของความโปร่งแสง (Secchi disc depth) (ตารางที่ 2.9) โดย 3 ปัจจัยนี้ ปัจจัยที่เที่ยงตรงที่สุดในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำคือ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ การใช้ปริมาณฟอสฟอรัสก็ให้ค่าที่แม่นยำเช่นกันโดยเฉพาะการประเมินในช่วงฤดูร้อน และจะแม่นยำมากถ้าใช้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสแทนค่าคลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงฤดูหนาว เพราะในฤดูหนาวปริมาณแพลงก์ตอนพืช มีน้อยเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย ดัชนีนี้ควรนำไปใช้เฉพาะแหล่งน้ำที่มีพืชน้ำขนาดใหญ่อยู่น้อย และไม่เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่ไม่มีแพลงก์ตอนพืชที่ก่อให้เกิดความขุ่น ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

ดัชนีสถานะความอุดมสมบูรณ์ของคาร์ลสัน (Carlson and Simpson, 1996)

$$\begin{aligned} \text{TSI}(\text{SD}) &= 60 - 14.41 \ln(\text{SD}) \\ \text{TSI}(\text{Chl-a}) &= 9.81 \ln(\text{Chl-a}) + 30.6 \\ \text{TSI}(\text{TP}) &= 14.42 \ln(\text{TP}) + 4.15 \end{aligned}$$

โดยที่	SD	=	ความลึกของความโปร่งแสง (m)
	Chl-a	=	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (µg/L)
	TP	=	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (µg/L)

ตารางที่ 2.9 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ปัจจัยต่าง ๆ

สถานะความอุดมสมบูรณ์	Trophic State Index	คลอโรฟิลล์ (µg/l)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (µg/l)	ความโปร่งแสง (m)
Oligotrophic	<30-40	0-2.6	0-12	>8-4
Mesotrophic	40-50	2.6-20	12-24	4-2
Eutrophic	50-70	20-56	24-96	2-0.5
Hypereutrophic	70-100+	56-155+	96-384+	0.5-0.25

แหล่งที่มา: Carlson and Simpson, 1996

นอกจากนี้ การเลือกใช้พารามิเตอร์ใดมาเป็นเกณฑ์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำควรพิจารณาถึงข้อดีและข้อจำกัดของพารามิเตอร์แต่ละตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของการเลือกใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ

พารามิเตอร์	ข้อดี	ข้อจำกัด
TSI โดยใช้ความโปร่งแสง	เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ การอ่านค่าทำได้ง่ายและแปลผลได้ง่าย	การอ่านค่ายากถ้าในแหล่งน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยที่ไม่ใช่แพลงก์ตอนพืชหรืออ่านค่ายากถ้าแหล่งน้ำนั้นใสมาก ๆ
TSI โดยใช้คลอโรฟิลล์	เป็นค่าที่ดีที่สุดในการประเมินมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช ควรเลือกพารามิเตอร์นี้ในการวัดช่วงฤดูร้อนแทนพารามิเตอร์อื่น	การวิเคราะห์ยุ่งยาก
TSI โดยใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ค่าค่อนข้างคงที่ตลอดปี การตรวจวัดในช่วงฤดูหนาว ใบไม้ผลิ และใบไม้ร่วง	จะให้ค่าสูงมากสำหรับแหล่งน้ำที่ได้รับสารอาหารจากแหล่งกำเนิดภายในและภายนอกแหล่งน้ำนี้ การวิเคราะห์ยุ่งยาก

แหล่งที่มา: Baban, 1996

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนิ่ง ได้แก่ อัตราการเพิ่มปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำนิ่ง (nutrient loading) ถ้าอัตราการเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำนิ่งสูง ก็จะมีค่าความอุดมสมบูรณ์สูง สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำของแหล่งน้ำนิ่ง ลักษณะดิน พืชพรรณ รูปแบบ และการใช้ประโยชน์ที่ดินก็ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่ม ดินร่วน และมีกิจกรรมทางการเกษตรมาก ย่อมส่งผลต่อการชะล้างของสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำมาก ในส่วนของสภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณแสงและอุณหภูมิ จะเป็นตัวเร่งการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพในแหล่งน้ำ เมื่อเกิดการตายทับถมกันของพืชในแหล่งน้ำก็จะเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยสารอาหารสู่แหล่งน้ำ

สำหรับสภาพทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน จะส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่จะชะล้างและนำพาสารอาหารจากพื้นดินโดยรอบให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำ การกวนของมวลน้ำในแหล่งน้ำนิ่ง หรือ turnover time ที่เกิดจากอิทธิพลของคลื่นและลมจะนำพาสารอาหารบริเวณพื้นล่างของแหล่งน้ำให้ขึ้นมาบริเวณผิวน้ำ ส่งผลต่อการบลูมของแพลงก์ตอนพืช สำหรับลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำนิ่ง เช่น ความลึก (ความลึกสูงสุดและความลึกเฉลี่ย) ปริมาณน้ำ และพื้นที่ผิวน้ำ ก็ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ ถ้าแหล่งน้ำมีขนาดใหญ่มาก (ความลึกมาก ปริมาณน้ำมาก และพื้นที่ผิวน้ำมาก) ก็จะมีการเจือจางสารอาหารสูงหรืออาจเกิดการแบ่งชั้นของน้ำ ซึ่งทำให้ผลผลิตและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำต่ำ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ผิวน้ำ ( $A_w$ ;  $A_o$ ) ถ้ามีค่าสูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นรับน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีสารอาหารชะล้างลงสู่แหล่งน้ำสูง เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ผิวของแหล่งน้ำนิ่งต่ำ แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นรับน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็ก

## 2.5 การป้องกันและแก้ไขการเกิดยูโทรฟิเคชัน

การควบคุมปริมาณสารอาหารพืชที่ส่งผลต่อการบลูมของแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืชต้องการทั้งสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วนประมาณ 16 : 1 ถ้าสารอาหารตัวใดตัวหนึ่งมีปริมาณน้อยกว่าความต้องการ ก็จะส่งผลไปจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณฟอสฟอรัสในธรรมชาติโดยทั่วไปมีอยู่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจน ดังนั้นแนวทางในการควบคุมการบลูมของแพลงก์ตอนพืชคือ การควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

แหล่งที่มาของสารอาหารในแหล่งน้ำนิ่ง ได้แก่ แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน (external point source of P) แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ไม่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน (external non point source of P) และแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสภายในแหล่งน้ำนิ่ง (internal P source)

### 2.5.1 การควบคุมฟอสฟอรัสจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน

แหล่งที่มาฟอสฟอรัสที่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตอาหาร แหล่งของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายจากบ้านเรือนและน้ำทิ้งจากบ้านเรือน รวมถึงฟาร์มปศุสัตว์ต่างๆ เช่น วัว ซึ่งผลิตฟอสฟอรัสได้สูงกว่ามนุษย์หลายสิบเท่า นอกจากนั้น นกยังเป็นตัวการสำคัญที่เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้อีกด้วย หรือที่เรียกว่าการเกิดยูโทรฟิเคชันโดยนกและสัตว์ปีก (guantotrophication) น้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 10-30 µg/l การป้องกันและแก้ไขการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสทำได้โดยการเบี่ยงท่อระบายน้ำทิ้งไม่ให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำอื่นที่สามารถรองรับน้ำทิ้งได้ วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่อท่อและการหาแหล่งน้ำที่มีความเหมาะสมในการรองรับน้ำทิ้ง และในระยะยาวอาจทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่สามารถรองรับน้ำทิ้งได้อีกต่อไป เพราะเกินขีดความสามารถของแหล่งน้ำในการรองรับน้ำทิ้งแล้ว (over carrying capacity)

แนวทางจัดการปริมาณฟอสฟอรัส (soluble reactive phosphorus; SRP) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) จากน้ำทิ้งก่อนที่จะระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ คือการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation/stripping) สารประกอบชนิดต่างๆ เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟตหรือที่เรียกว่า อะลัม หรือสารส้ม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) มักใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือเรียกว่า ปูนขาว ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) การใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) หรือเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) ดังสมการตามมาตรฐานของต่างประเทศ สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ปล่อยออกจากโรงบำบัดน้ำเสียไม่ควรเกิน 1-2 mg/l



สำหรับข้อดีของการใช้อะลัม ในระบบบำบัดน้ำเสียคือ หาซื้อง่าย ใช้ง่าย นอกจากนี้ อะลูมิเนียมฟอสเฟตที่ตกตะกอนจะคงอยู่ในสถานะของแข็งในช่วงความเป็นกรดต่างที่กว้างตั้งแต่ 2-9 แต่ในสภาพเป็นกรดต่างจัดสถานะของอะลูมิเนียมฟอสเฟตก็จะเปลี่ยนแปลงไป นอกจากอะลูมิเนียมซัลเฟตแล้ว ยังสามารถใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ หรือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ได้ ในส่วนของการตกตะกอนฟอสเฟตด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตแสดงดังสมการด้านล่างนี้ สำหรับข้อดีของการใช้สารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต คือ เฟอร์ริกไอออนจะไปควบคุมกลิ่นที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) โดยตกตะกอนเป็นเฟอร์ริกซัลไฟด์ ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ) นอกจากนั้นเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) มีประสิทธิภาพมากกว่าเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ในการตกตะกอนกับฟอสเฟตเพราะมีวาเลนซ์ (+3) ของเฟอร์ริกไอออนที่สูงกว่า (+2) เฟอร์รัสไอออน



การกำจัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ทำได้โดยนำไปเป็นปุ๋ยในแปลงเกษตรและทำการไถกลบหรือนำไปใส่ในพื้นที่การเกษตรช่วงที่ฝนพำๆ เพื่อให้ปุ๋ยในดินแพร่กระจายตัวลงไปในดิน แนวทางในการป้องกันสารปนเปื้อนสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำคือ การทำการเกษตรโดยผูกหลักหรือที่เรียกว่า

A Code of Good Agricultural Practices for the Protection of Water อย่างไรก็ตาม หลักการสำคัญของแนวปฏิบัติดังกล่าวมุ่งเน้นไปที่การป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ไหลลงสู่แหล่งน้ำเพราะจะทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำจากสารอินทรีย์ และการมุ่งเน้นเรื่องการเก็บและการใช้สารเคมีทางการเกษตรอย่างถูกวิธี ซึ่งสามารถลดปัญหาลงได้บ้าง

ผงซักฟอกเป็นอีกตัวการหนึ่งที่ทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำโดยเฉพาะในช่วงปี 1950-1980 ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสหรือโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่เป็นส่วนผสมในผงซักฟอกถูกนำมาใช้เพื่อให้จับตัวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ มิฉะนั้นแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำจะไปจับตัวกับสาร surfactant ซึ่งจะทำให้สารดังกล่าวไม่สามารถทำหน้าที่ในการกำจัดไขมันต่างๆ ที่ติดอยู่บนเสื้อผ้าได้ การที่เลือกใช้ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบในผงซักฟอก เพราะ ฟอสเฟตเป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่กัดกร่อน เป็นสารที่ไม่จับตัวกันเป็นก้อนในผงซักฟอก และไม่ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อในเครื่องซักผ้าได้ จากนั้นมีการพัฒนาสารเคมีชนิดอื่นมาใช้แทนฟอสเฟตที่เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ สารที่คิดค้นขึ้นมาได้แก่ nitrilotriacetic และ zeolites สำหรับแนวทางในการกำจัดฟอสเฟตจากน้ำทิ้งบ้านเรือนคือ การผ่านระบบบำบัดน้ำเสียดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น สำหรับค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางเคมีแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

วิธีการ	การกำจัดสารอาหาร	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ราคา (USD/100m <sup>3</sup> )
การตกตะกอนทางเคมี ด้วย Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	ฟอสฟอรัส	65-95	6-9
การตกตะกอนทางเคมี ด้วย Ca(OH) <sub>2</sub>	ฟอสฟอรัส	85-95	12-18
เรซินแลกเปลี่ยนไอออน	ไนโตรเจน	80-95	45-60

แหล่งที่มา: Jorgensen *et al.*, 2005

การทำฟาร์มปลาหรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ปลาช่อน ปลาดุก ปลานิล นั้นถือเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในแหล่งน้ำ สาเหตุหลักมาจากสารอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีนไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งสิ่งขับถ่ายของปลา การควบคุมสามารถทำได้โดยใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด นอกจากนี้ควรมีระบบบำบัดน้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติด้วย จากข้อมูลพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้

จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเป็นระบบที่ผสมผสานระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ ร่วมกับการใช้บึงประดิษฐ์และบ่อกักเลน สำหรับหลักการในการทำงานคือ เกษตรกรระบายน้ำทิ้งเข้าสู่อบ่เติมอากาศที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบกังหันไว้ (ขนาด 8 แรงม้าต่อบ่อขนาด 1 ไร่) ในส่วนของน้ำก้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ให้ระบายลงสู่อัดดินตะกอนก่อน โดยรอให้น้ำก้นบ่อตกตะกอนประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงระบายน้ำลงสู่อบ่เติมอากาศ (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

ในส่วนของเลนในบ่อตะกอน สามารถกำจัดโดยการขุดลอกบ่อแล้วตากเลนให้แห้งแล้วนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อผสมกับดินในการปลูกต้นไม้ต่อไป ในบ่อเติมอากาศควรมีการเติมจุลินทรีย์เสริมเพื่อช่วยในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ภายในบ่อ จากนั้นปล่อยน้ำที่ผ่านบ่อเติมอากาศไปยังบึงประดิษฐ์ซึ่งมีหน้าที่ในการกำจัดสารอินทรีย์ เช่น สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยพืชน้ำที่ปลูกไว้ในบ่อ เช่น ธูปฤๅษี กก ผักบุ้ง เป็นต้น จากนั้นจึงระบายน้ำออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือนำน้ำกลับเข้าไปใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใหม่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเพื่อบำบัดในบ่อเติมอากาศและบึงประดิษฐ์อยู่ที่บ่อละ 1 วัน สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำนั้น พบว่าสามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 88 ลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 80 ลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 73 ลดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 62 และลดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 35 อย่างไรก็ตามรูปแบบของระบบบำบัดน้ำทิ้ง ความเหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับรูปแบบการเลี้ยงประเภทของสัตว์น้ำที่เลี้ยง ความหนาแน่นของสัตว์น้ำ ปริมาณอาหารที่ให้ และรูปแบบในการจัดการฟาร์ม

### 2.5.2 การควบคุมสารอาหารจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ไม่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน

แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสภายนอกแหล่งน้ำนิ่งที่ไม่ทราบจุดกำเนิดแน่นอนเชื่อกันว่ามีอิทธิพลน้อยกว่าแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสที่ทราบจุดกำเนิดแน่นอน ทั้งนี้เป็นเพราะฟอสเฟตสามารถถูกดูดซับกับดินตะกอนเหนียวได้ แต่ในปัจจุบันพบว่าดินที่อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมมีการใช้ปุ๋ยกันมาก ดินเหนียวเกิดความอึดตัวในการดูดซับฟอสเฟตจึงทำให้ฟอสเฟตถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำได้เพิ่มขึ้น แนวทางการป้องกันการปนเปื้อนสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำคือ การทำเกษตรโดยถูกหลักหรือที่เรียกว่า A Code of Good Agricultural Practice for the Protection of (หน้า 22)

มูลของสัตว์เลี้ยง เช่น สุกร วัว หรือสัตว์ปีก ถือเป็นแหล่งที่มาสำคัญของสารอาหารที่ลงสู่แหล่งน้ำ เช่น มูลของสัตว์ปีกมีปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N : P) 3 : 1 หรือมีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยประมาณ 15.5 gP/kg ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า มูลไก่จากฟาร์มสัตว์ปีกมีปริมาณฟอสฟอรัสถึง 1 MT/yr หรือ 14,000 MT-P/yr มูลสัตว์ปีกที่เกิดขึ้นทั้งหมดเหล่านี้ถูกนำไปฝังกลบในพื้นที่ดิน ซึ่งมีโอกาสที่จะถูกน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินนำพาลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ น้ำไหลบ่าผิวหน้าดินที่ระดับความลึกในดินชั้นบน 5 เซนติเมตร ถือเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่สำคัญ ส่วนในชั้นดินที่มีระดับลึกลงไปซึ่งเกิดจากการไถพรวนที่ลึกจะช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินได้ ทั้งนี้เพราะมูลสัตว์ถูกฝังลึกลงไปชั้นดินทำให้มีโอกาสสัมผัสกับน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินได้น้อยกว่ามูลสัตว์ที่อยู่บริเวณผิวหน้าดินชั้นบน ดังนั้นการใช้ประโยชน์หรือ

การจัดการมูลสัตว์ที่ดีคือ การไถพรวนมูลของสัตว์เลี้ยงให้จมไปในชั้นดินลึก ซึ่งจะมีผลกระทบน้อยกว่า การใส่มูลสัตว์ลงบนผิวดินเท่านั้น อีกทั้งมูลสัตว์ที่ถูกไถกลบลงไปชั้นดินนั้นจะถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีอีกด้วย

การลดปริมาณสารอาหารในน้ำไหลบ่าผิวดินจากพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้ผลดี คือ การใส่เกลืออะลูมิเนียม เกลือแคลเซียม และเกลือเหล็กผสมไปในมูลสัตว์ ทั้งนี้เพราะเกลือเหล่านี้จะไปตกตะกอนกับฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำ จากการศึกษาพบว่า การเติมอะลูมิเนียมลงในมูลสุกรในปริมาณมาก (อัตราส่วน 1 : 1 ของอะลูมิเนียมและฟอสฟอรัสในมูลสุกร) สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 84 (Smith *et al.*, 2001) หรือจากการศึกษาที่เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำระหว่างพื้นที่ใส่อะลูมิเนียมในมูลสุกรกับพื้นที่ที่ไม่ได้ใส่อะลูมิเนียม โดยทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลามากกว่า 3 ปี พบว่า พื้นที่ที่ใส่อะลูมิเนียมในมูลสุกรสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำจากน้ำที่ไหลบ่าผิวดินได้ร้อยละ 73 และจากข้อมูลที่ได้พบว่า ถึงแม้การใส่อะลูมิเนียมจะช่วยลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มาก แต่ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสก็ยิ่งถือว่าสูงกว่า 2 mgP/L หรือสูงกว่านั้นเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียของชุมชนที่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากกว่านี้หลายเท่า อีกทั้งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจากน้ำไหลบ่าผิวดินนี้ยังมีค่าสูงถึงกว่า 100 เท่าของปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ก่อให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ สำหรับความกังวลของการใส่อะลูมิเนียมว่าจะไปปนเปื้อนในดินนั้นคงจะไม่ใช่ปัญหา ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมเป็นสารที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 3 ของโลก ดังนั้นในธรรมชาติจะมีอะลูมิเนียมอยู่แล้ว อีกทั้งปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้ในมูลสุกรก็มีปริมาณต่ำมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่อยู่ในดิน และตรวจพบที่ค่าความเป็นกรดต่างของดินอยู่ในช่วง 6-8 อะลูมิเนียมก็ยังคงอยู่ในรูปของแข็ง (Shreve *et al.*, 1995)

การใช้เกลืออะลูมิเนียมและเกลือเหล็กมีประโยชน์มากกว่าการใช้เกลือแคลเซียมเพราะเกลือทั้งสองชนิดจะช่วยลดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และลดการระเหยของแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งจะช่วยลดการเกิดโรคในสัตว์ และทำให้อากาศสะอาดมากขึ้น นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีประสิทธิภาพมากกว่าแคลเซียมที่ได้มาจากเถ้าลอยของการเผาไหม้ถ่านหินด้วย

### 2.5.3 การควบคุมสารอาหารจากภายในแหล่งน้ำนิ่ง

การฟื้นฟูแหล่งน้ำนิ่งควรลดปริมาณสารอาหารที่มาจากภายนอกแหล่งน้ำนิ่งก่อน จากนั้นจึงมาพิจารณาลดปริมาณสารอาหารจากภายในแหล่งน้ำนิ่ง แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำนิ่งมาจากสารอินทรีย์ที่ทับถมและถูกย่อยสลายรวมถึงปฏิกิริยาทางเคมีในดินตะกอนที่ปลดปล่อยฟอสฟอรัส วิธีการในการกำจัดฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดภายในแหล่งน้ำนิ่งมี 1. การเจือจางน้ำในแหล่งน้ำนิ่ง และการผลักดันน้ำออกจากแหล่งน้ำนิ่ง (dilution and wash out/flushing) 2. การกำจัดมวลชีวภาพ (macrophyte biomass removal) (Smith *et al.*, 1975; Zappi and Hayes, 1991; Moss *et al.*, 1996; Burris, 1998; Kumar, 2008)

1. การเจือจางน้ำในแหล่งน้ำนิ่งและการผลัดคั้นน้ำออกจากแหล่งน้ำนิ่ง (dilution and wash out/flushing) คือ การใช้น้ำผลัดคั้นน้ำในแหล่งน้ำนิ่งที่มีสารอาหารพืชและแพลงก์ตอนพืชอยู่สูงให้ออกไปจากแหล่งน้ำนิ่ง การดำเนินการด้วยเทคนิคนี้จะต้องใช้น้ำที่มีปริมาณสารอาหารพืชและแพลงก์ตอนพืชต่ำ น้ำที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำในแม่น้ำหรือน้ำดิบสำหรับชุมชนเมือง วิธีนี้มีข้อดีที่ว่าจะเห็นผลได้ชัดเจนและรวดเร็ว เพราะเมื่อน้ำเก่าจากแหล่งน้ำนิ่งถูกผลัดออกไปหรือถูกเจือจางก็จะทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ การหาปริมาณน้ำจำนวนมากมาเจือจางหรือมาผลัดคั้นน้ำในแหล่งน้ำนิ่งนั้นมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด อีกทั้งจะต้องมีระบบคลองหรือท่อในการขนส่งน้ำ ถ้าแหล่งน้ำที่ไม่มีระบบนำน้ำเข้ามาก็จะต้องลงทุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

2. การกำจัดมวลชีวภาพ (macrophyte biomass removal) เป็นวิธีที่นำพืชน้ำโดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกราน เช่น ผักตบชวา (*Eichhomia crassipes*) สาหร่ายคาบอมบา (*cabomba caloriliana*) ไมยราบยักษ์ (*Mimosa pigra*) ที่เจริญเติบโตมากเกินไป (over grown) ในแหล่งน้ำออก ข้อดีของการนำพืชน้ำออกนอกจากจะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์สะสมซึ่งเป็นแหล่งที่มาของสารอาหารในแหล่งน้ำแล้วการนำพืชน้ำออกจากแหล่งน้ำยังช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้มากขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่สำหรับทำกิจกรรมทางน้ำและการพักผ่อนหย่อนใจ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของพืชน้ำโดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นชนิดพันธุ์ท้องถิ่น ด้วยวิธีในการกำจัดพืชน้ำออกจากแหล่งน้ำนิ่งทำได้หลายวิธีด้วยกันทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liping Wang, Lusan Liu, Binghui Zheng (2013) ศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในอ่างเก็บน้ำยางเหอ เมืองฉิงหวงเต่า ตอนเหนือของประเทศจีน ในปี ค.ศ. 1990-2011 โดยทำการตรวจวิเคราะห์ ระดับความลึกของความโปร่งแสง (SD) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl-a) นำปัจจัยดังกล่าวมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำโดยใช้ดัชนีชี้วัดของ Carlson (1977), Kratzer และ Brezonik (1981) มาใช้ในการคำนวณระดับชั้นของสารอาหาร (trophic state indice ; TSIs) พบว่าค่า  $TSI_{Chl-a}$  และ  $TSI_{SD}$  มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำมาใช้ในการจัดระดับชั้นของสารอาหารได้ดังนี้ คือ ในปี ค.ศ.1990, 2010 และ 2011 จัดอยู่ในระดับ Mesotrophic, Eutrophic และ Hypereutrophic ตามลำดับ โดยในช่วงฤดูร้อนของทุกปีแหล่งน้ำไม่มีการหมุนเวียน หรือเรียกว่าการเกิดสภาพคงตัว จะเกิดปรากฏการณ์น้ำมีสีเขียวที่เกิดจากการบลูมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) จึงได้เก็บตัวอย่างสาหร่ายมาหาปริมาณสารที่ออกซิน (microcystin; MC) พบว่าในปี ค.ศ. 2010 และ 2011 มีค่าอยู่ในช่วง 0.35-2.12 ไมโครกรัม/ลิตร และ 0.11-1.86 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่พบเกินเกณฑ์ที่ยอมให้มีในน้ำดื่มถึง 2 เท่า

**อ่อนจันทร์ และคณะ (2553)** การศึกษาพลวัตของธาตุอาหารพืชยูโทรฟิเคชัน และอัตราเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อยในปี พ.ศ. 2550 ในการศึกษาพลวัตของธาตุอาหารพืชและการเปลี่ยนแปลงของอัตราเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อยที่ส่งผลทำให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน โดยดำเนินการศึกษา 2 ช่วงคือ ในฤดูแล้ง (มีนาคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2550) ในฤดูฝน (สิงหาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2550) พบว่าทะเลน้อยกำลังประสบปัญหาหลักๆอยู่สองประการคือความเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสภาวะยูโทรฟิเคชัน มีสาเหตุหลักเกิดจากมลพิษจากแหล่งต่างๆที่ระบายลงสู่ทะเลน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ทราบตำแหน่งแน่นอนและจากแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนในบริเวณพื้นที่รับน้ำโดยรอบ ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชและอัตราเมตาบอลิซึมยังพบว่า ธาตุฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อพลวัตของกระบวนการยูโทรฟิเคชันโดยร้อยละ 60 ความแปรปรวนของคลอโรฟิลล์ เอ สามารถอธิบายได้ด้วยความแปรปรวนของธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด ความสัมพันธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับสัดส่วนของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (DIN : DIP Ratio) ที่แสดงว่าธาตุฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

**พงศ์เทพ และกลิ่นสุคนธ์ (2554)** การศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคอง ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างน้ำจาก 20 สถานี ในลำน้ำหลักและลำน้ำสาขา จำนวน 6 ครั้ง (ตุลาคมและธันวาคม พ.ศ. 2551 กุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน และสิงหาคม พ.ศ. 2552) การเก็บตัวอย่างน้ำ 9 สถานี ในอ่างเก็บน้ำลำตะคอง จำนวน 2 ครั้ง (เมษายนและกันยายน พ.ศ. 2552) และวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ 13 ปี (พ.ศ. 2539-2551) จากจุดเก็บน้ำ 7 สถานี ในแม่น้ำลำตะคอง โดยกรมควบคุมมลพิษ ผลการศึกษาพบว่า ในลำน้ำหลักและลำน้ำสาขา ในปี พ.ศ. 2551-2552 พารามิเตอร์ต่างๆ อยู่เกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ยกเว้นค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน ฟอสเฟต และบีโอดี พบว่า ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าสูงสุด 12.6 mg/l ณ จุดเก็บน้ำสะพานกรมชลประทาน ฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุด 2.7 mg/l ณ จุดสูบน้ำประปาเทศบาลนครนครราชสีมา บริเวณอ่างเก็บน้ำลำตะคอง และค่าบีโอดีมีค่าสูงสุด 8.7 mg/l ณ จุดเก็บน้ำท่ากระสังข์ คุณภาพน้ำของลำตะคองส่วนใหญ่ จัดเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง ยกเว้นช่วงที่ไหลผ่านตัวเทศบาลนครนครราชสีมา ที่คุณภาพน้ำมีสารอาหารปานกลางค่อนข้างสูง สำหรับจุดเก็บตัวอย่างที่มีแนวโน้มการเกิดยูโทรฟิเคชันสูง ได้แก่ คลองยาง จุดสูบน้ำประปาเทศบาลนครนครราชสีมา บริเวณอ่างเก็บน้ำลำตะคอง เขื่อนทดน้ำกุดหิน บ้านท่ากระสังข์ และเขื่อนทดน้ำกันผม ซึ่งเป็นจุดที่ลำตะคองบรรจบกันบริบูรณ์ก่อนไหลลงสู่แม่น้ำมูล ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารอาหารที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละจุดเก็บที่กล่าวมาข้างต้นสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในอ่างเก็บน้ำลำตะคองพบว่า ปริมาณสารอาหารไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าสูงบริเวณจุดที่ลำน้ำหลักและลำน้ำสาขาไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ โดยมีค่าสูงในช่วงเดือนกันยายน มีค่าไนโตรเจน อยู่ในช่วง 0.03-0.05 mg/l ค่าไนเตรท อยู่ในช่วง 1-1.5 mg/l และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.5-0.6 mg/l ซึ่งเป็นช่วงที่มิน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำในปริมาณมาก ทำให้น้ำในอ่างมีระดับสารอาหารปานกลาง เนื่องจากช่วงที่ทำการศึกษาไม่พบการบลูมของสาหร่ายจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงนำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำย้อนหลัง 13 ปี มาทำการศึกษาและพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1.7 mg/l แอมโมเนียมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 2.51 mg/l ที่จุดเก็บชุมชนวัดสามัคคี ในขณะที่ค่าบีโอดีและไนเตรทมีค่าเฉลี่ย 13 ปี สูงสุด 5.5 mg/l และ 0.6

mg/l ตามลำดับ ที่จุดเก็บบ้านยองแยง และฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3.5 mg/l ที่จุดเก็บบ้านบุกระเฉด จากค่าที่ได้แสดงถึงคุณภาพน้ำบริเวณชุมชนวัดสามัคคี และบ้านยองแยงมีปัญหาคุณภาพน้ำในรอบ 13 ปีโดยรวม จึงถูกจัดเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารในช่วงตีปานกลาง ถึงปานกลาง ยกเว้นช่วงที่ไหลผ่านตัวเทศบาลนครนครราชสีมา ที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงปานกลางถึงเสีย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างในปัจจุบัน เพื่อให้งานวิจัยครอบคลุมคุณภาพน้ำทั้งลุ่มน้ำควรศึกษาคุณภาพน้ำในลำน้ำสาขาให้เพิ่มขึ้นและมีการประเมินแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายในพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคอง ในอนาคต

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมืออุปกรณ์

1. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ภาคสนาม รุ่น sension6 ยี่ห้อ HACH
2. เครื่องวัดภาคสนาม รุ่น HQ40d ยี่ห้อ HACH
3. เครื่องวัดความขุ่น รุ่น HQ40d ยี่ห้อ HACH
4. ชุดเครื่องย่อยสลาย รุ่น KI ยี่ห้อ Gerhardt
5. ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย รุ่น KI ยี่ห้อ Gerhardt
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น Newclassic MF ยี่ห้อ Mettler Toledo
7. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Genesys 10s ยี่ห้อ Thermo Scientific
8. เตาให้ความร้อน ยี่ห้อ Fisher Hot Plate
9. ตู้อบสาร ยี่ห้อ Fisher scientific
10. แผ่นวัดความโปร่งใส
11. ชุดอุปกรณ์ไทเทรต
12. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

#### 3.2 สารเคมี

1. กรดกลูตามิก (Glutamic acid) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
2. กรดซัลฟานิลิก (Sulfanilic acid) เกรด AR ผู้ผลิต Fisher
3. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid;  $H_2SO_4$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
4. กรดไนตริก (Nitric acid;  $HNO_3$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
5. กรดบอริก (Boric acid;  $H_3BO_3$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Fisher Apex chemicals
6. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
7. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
8. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate;  $CuSO_4$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
9. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride; NaCl) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
10. โซเดียมเตตระโบเรต (Sodium Tetraborate;  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) เกรด Lab ผู้ผลิต Carlo Erba
11. โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate;  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
13. น้ำกลั่นที่ปราศจาก แอมโมเนีย (Ammonia)
14. บรูซีนซัลเฟต (Brucine Sulfate) เกรด AR ผู้ผลิต Acros

15. โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium Sulfate;  $K_2SO_4$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
16. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein;  $C_{20}H_{14}O_4$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
17. สารละลายเมธิลีนบลู (Methylene blue) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
18. สารละลายเมธิลเรด (Methyl red) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
19. เอธิลแอลกอฮอล์ 95 % (Ethyl alcohol;  $C_2H_5OH$ ) เกรด com ผู้ผลิต Erba
20. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเตรต (Antimony potassium tartrate;  $KSbO \cdot C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Ajax
21. แอมโมเนียมโมลิบดีนัม (Ammonium molybdate;  $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba
22. แอนไฮดรัสโพแทสเซียมไนเตรต (anhydrous Potassium nitrate;  $KNO_3$ ) เกรด AR ผู้ผลิต Carlo Erba

### 3.3 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

สำรวจสภาพโดยทั่วไปของลำคลอง เลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่าง 3 บริเวณ เพื่อเป็นตัวแทนของลำคลอง ได้แก่ บริเวณต้นน้ำ (upstream) บริเวณกลางน้ำ (middle stream) และบริเวณท้ายน้ำ (downstream) แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยพื้นที่รอบๆ ตำแหน่งที่เก็บน้ำตัวอย่างไม่มีท่อน้ำทิ้งชุมชนไหลลงมาผสมกับน้ำในคลอง

ตารางที่ 3.1 จุดเก็บน้ำตัวอย่างในคลองตะเข้ขบ

จุดเก็บที่	สถานที่	พิกัดทางภูมิศาสตร์
1	สะพานท้ายคลองตะเข้ขบ	13°42'33"N 100°41'50"E
2	สะพานหน้าร้านค้า	13°42'42"N 100°41'59"E
3	สะพานสูงต้นคลองตะเข้ขบ	13°42'19"N 100°41'40"E

### 3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ในการเก็บตัวอย่างน้ำจะใช้วิธีแบบจ้วง (grab sampling) ที่ระดับผิวน้ำลึกลงไป 10 เซนติเมตร ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร เก็บรักษาตัวอย่างน้ำโดยควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 4 °C และนำมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทันที

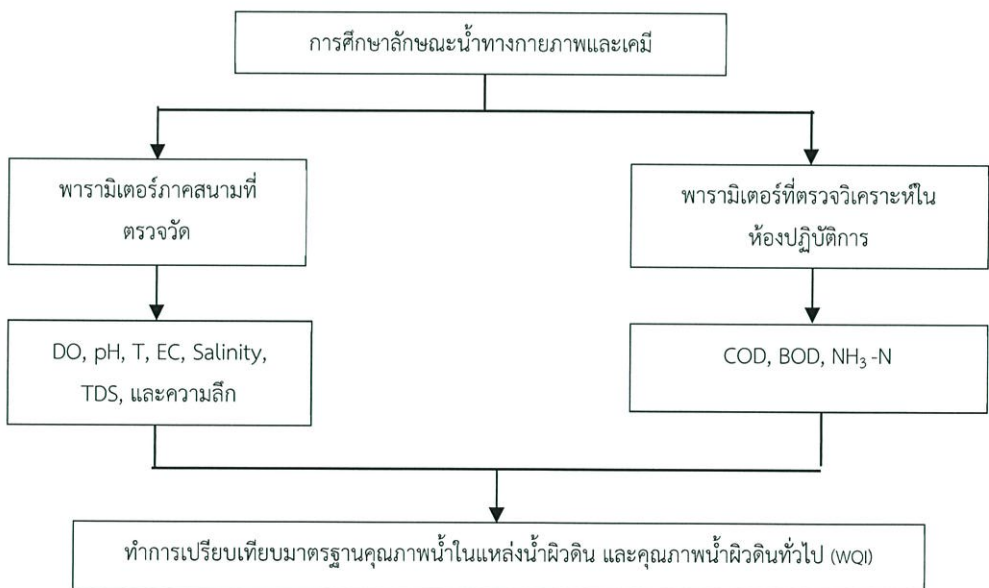
### 3.5 การดำเนินการวิจัย

#### 3.5.1 การศึกษาลักษณะน้ำทางกายภาพและเคมี

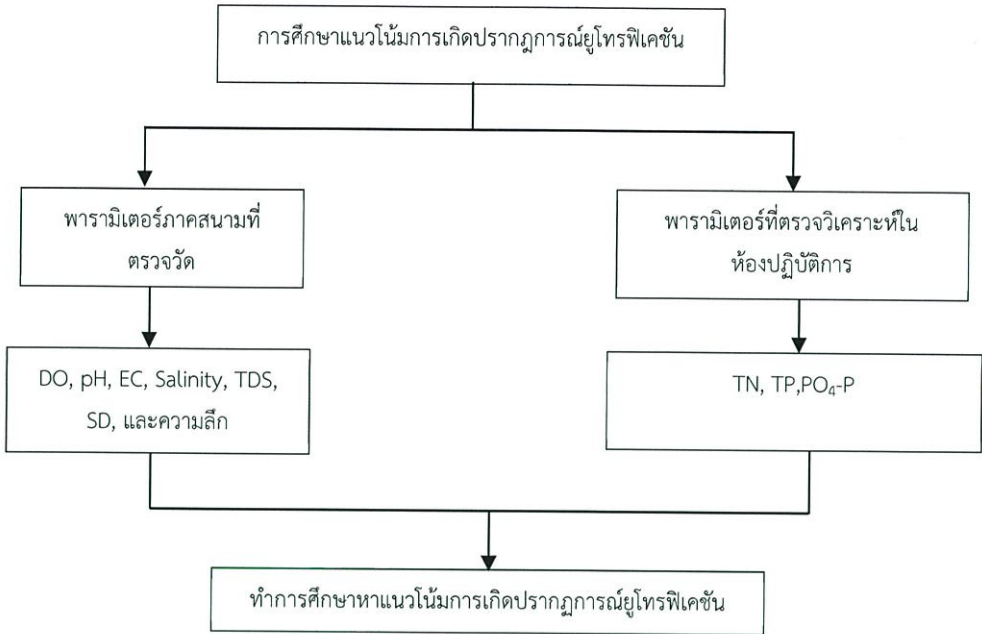
ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูร้อน ระหว่างเดือนมีนาคม โดยเก็บจำนวน 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 7 วัน โดยพารามิเตอร์ภาคสนามที่ตรวจวัด ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ การนำไฟฟ้า (EC) ความเค็ม (Salinity) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดทั้งหมด (TDS) และความลึก พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ บีโอดี (BOD) และแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ดังรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ที่แสดงวิธีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์

#### 3.5.2 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนตุลาคม โดยเก็บจำนวน 7 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 4 วัน โดยมีพารามิเตอร์ภาคสนามที่ตรวจวัด ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ การนำไฟฟ้า (EC) ความเค็ม (Salinity) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดทั้งหมด (TDS) ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (SD) และความลึก พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจน (TKN) ไนเตรตไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (TP) ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) ดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2 ที่แสดงวิธีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์



รูปที่ 3.1 การศึกษาลักษณะน้ำทางกายภาพและเคมี



รูปที่3.2 การศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

ตารางที่3.2 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์ภาคสนาม	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
1.ความเป็นกรดต่าง (pH)	-	เครื่องวัดภาคสนาม
2.อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)	°C	เทอร์โมมิเตอร์
3.อุณหภูมิน้ำ (Water Temperature)	°C	เครื่องวัดภาคสนาม
4.ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้ (TDS)	mg/l	เครื่องวัดภาคสนาม
6.ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	µs/cm	เครื่องวัดภาคสนาม
7.ความเค็ม (Salinity)	ppt	เครื่องวัดภาคสนาม
5.ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)	mg/l	เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ
8.ความขุ่น (Turbidity)	NTU	เครื่องวัดความขุ่น
9.ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (Transparency)	m	วิธีวัดความโปร่งใส (Secchi Disk)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
1.ซีโอดี (COD)	mg/l	การรีฟลักซ์แบบปิดด้วย $K_2Cr_2O_7$ และใช้การไทเทรต
2.แอมโมเนียไนโตรเจน ( $NH_3-N$ )	mg/l	วิธีกลั่น
3.ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) - ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจน - ไนเตรตไนโตรเจน	mg/l mg/l	วิธีเจลดาร์ล (Total Kjeldahl Method) วิธีบลูซีน (Brucine Method)
4.ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ( $PO_4-P$ )	mg/l	ใช้กรดแอสคอบิกทำให้เกิดสี วัดปริมาณด้วยการเทียบสี
5.ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (TP)	mg/l	การย่อยด้วยกรดซัลฟูริก-กรดไนตริก วัดปริมาณด้วยการเทียบสี
6.สภาพด่าง (Alkalinity)	-	วิธีไทเทรต
7.บีโอดี (BOD)	mg/l	วิธี Direct Method วัดปริมาณด้วย DO meter

หมายเหตุ: – หมายถึงไม่มีหน่วย

แหล่งที่มา: APHA, AWWA, 1992

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินคุณภาพน้ำคลองตะเข้บ โดยอ้างอิงจากดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป (General Water Quality Index : WQI) และเกณฑ์การประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน สำหรับการประเมินระดับชั้นสารอาหารใช้ดัชนีชี้วัดระดับชั้นสารอาหารของคาร์ลสัน (Carlson Trophic State Index : TSI)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

ในการศึกษาคุณภาพน้ำในคลองตะเข็บ โดยเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำ (upstream) บริเวณกลางน้ำ (middle stream) และบริเวณท้ายน้ำ (downstream) ในช่วงเดือนมีนาคม ระดับน้ำในคลอง เท่ากับ 0.77 เมตร โดยวัดบริเวณกึ่งกลางน้ำ พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ คือ สี กลิ่น รส อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจน (อ้างอิงตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน) ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

พารามิเตอร์	หน่วย	ตำแหน่งของคลองตะเข็บ				เกณฑ์คุณภาพน้ำ	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
		ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ	$\bar{X}$		
<b>ทางกายภาพ</b>							
ความลึกของน้ำ	m	0.78	0.77	0.78	0.77	-	-
อุณหภูมิน้ำ	°C	31.20	31.40	31.60	31.40	-	-
อุณหภูมิอากาศ	°C	33.00	33.00	33.00	33.00	-	-
การนำไฟฟ้า	µs/cm	1048	839	724	870	-	-
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	mg/l	520	410	353	427	-	-
ความเค็ม	ppt	5.20	4.10	3.50	4.20	-	-
<b>ทางเคมี</b>							
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.41	7.37	7.40	7.39	-	-
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	mg/l	2.17	2.15	2.15	2.15	-	-
ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (PO <sub>4</sub> -P)	mg/l	1.73	1.46	1.45	1.54	-	-
ปริมาณเจลดาร์ลไนโตรเจน (TKN)	mg/l	8.51	8.18	8.01	8.23	-	-
ปริมาณไนเตรดไนโตรเจน (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	0.16	0.13	0.12	0.13	-	-
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	mg/l	8.67	8.31	8.13	8.37	-	-
ซีโอดี (COD)	mg/l	38.67	46.67	48.00	44.44	-	-
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/l	2.97	2.96	2.91	2.95	เสื่อมโทรม	4
บีโอดี (BOD)	mg/l	6.26	6.53	6.36	6.38	เสื่อมโทรมมาก	5
แอมโมเนียไนโตรเจน (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	7.70	9.89	7.21	8.27	เสื่อมโทรมมาก	5

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีการจัดเกณฑ์คุณภาพน้ำ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่า สีและกลิ่น ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ (ดังรูปที่ 4.1) สำหรับความลึกของน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.77 เมตร เนื่องจากในช่วงฤดูร้อนปริมาณน้ำในคลองค่อนข้างน้อยมาก ส่วนอุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ย 31.40 °C ซึ่งไม่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ (33.00 °C) จึงเป็นไปตามธรรมชาติ ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 870  $\mu\text{s}/\text{cm}$  พบว่ามีค่าสูงเกิน 300  $\mu\text{s}/\text{cm}$  แสดงให้เห็นว่า แหล่งน้ำอาจมีการปนเปื้อนน้ำเสีย (ชาญณรงค์, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงถึง 427 mg/L โดยปกติสารแขวนลอยในน้ำไม่ควรเกิน 25 mg/L (ไมตรี และจากรุวรรณ, 2528) สำหรับค่าความเค็มอยู่ในระดับน้ำกร่อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.2 ppt โดยปกติแหล่งน้ำกร่อยวัดความเค็มได้ตั้งแต่ 0.5-30 ppt

จากการศึกษาลักษณะทางเคมีพบว่า ความเป็นกรด-ด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.38 ซึ่งเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้มีความในช่วง 6-8 (นันทนา, 2539) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดพบว่ามีค่าเฉลี่ย 2.15 mg/L และปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าเฉลี่ย 1.54 mg/L ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานแหล่งน้ำที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.03 mg/L (ไมตรี และ จากรุวรรณ, 2528) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเจลาตาทัลโนโตรเจนที่มีค่าเฉลี่ย 8.23 mg/L ส่วนปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ที่มีค่าเฉลี่ย 0.13 mg/L ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 mg/L ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ย 8.37 mg/L ส่วนค่าซีโอติมีค่าเฉลี่ยที่ 44.44 mg/L สามารถบอกได้ว่า แหล่งน้ำมีสารอินทรีย์ละลายอยู่ จุลินทรีย์อาจนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายจึงสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ที่พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 mg/L โดยทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในค่ามาตรฐาน (ไม่ต่ำกว่า 2.0 mg/L) ซึ่งจัดอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมเช่นเดียวกับในช่วงฤดูฝนที่พบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 2.17 mg/L (ข้อมูล DO อยู่ในตารางที่ 4.4) ซึ่งสามารถบอกได้ว่าฤดูฝนไม่ส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ส่วนค่าบีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.38 mg/L ทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ ค่าบีโอดีสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยประเภทที่ 4 กำหนดเกณฑ์ไม่มากกว่า 4.0 mg/L จึงจัดอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมมาก สำหรับค่าแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.27 mg/L โดยทุกบริเวณที่เก็บค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยประเภทที่ 4 กำหนดเกณฑ์ไม่มากกว่า 0.05 mg/L ซึ่งจัดอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมมาก จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของคลองตะเข้ขบ สามารถจัดได้ว่าแหล่งน้ำอยู่ในประเภทที่ 5 ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน และจัดว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความเสื่อมโทรมมากตามเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของคลองตะเข็บในช่วงฤดูร้อน

## 4.2 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร

### 4.2.1 สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพบริเวณที่ศึกษา

ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันจะทำการศึกษาในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนตุลาคม ระดับน้ำในคลองมีค่าเฉลี่ย 1.23 เมตร ซึ่งสูงกว่าฤดูร้อนในช่วงเดือนมีนาคม อุณหภูมิในอากาศจะสูงกว่าในน้ำ ประมาณ  $3^{\circ}\text{C}$  โดยในเดือนตุลาคม อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $30.0^{\circ}\text{C}$  ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ (ที่สถานีสุวรรณภูมิ) จะสูงที่สุดในการเก็บน้ำครั้งที่ 1 โดยครั้งที่ 1 เก็บน้ำหลังฝนตก ส่วนครั้งที่ 3 มีเศษผักตบชวาบริเวณกลางน้ำและทำนบน้ำเป็นจำนวนมาก สำหรับลักษณะทางกายภาพ คือ สีและกลิ่น ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ น้ำมีสีดำขุ่น บางครั้งจะพบคราบน้ำมันลอยบริเวณผิวหน้าน้ำ โดยเฉพาะตำแหน่งที่มีท่อน้ำทิ้งจากชุมชนระบายลงสู่ลำคลอง สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสภาพภูมิอากาศและสภาพแหล่งน้ำในคลองตะเข็บ

ครั้งที่เก็บ	สภาพภูมิอากาศ					ลักษณะทางกายภาพ		หมายเหตุ
	ลมฟ้าอากาศ	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	ปริมาณน้ำฝน* (mm/day)	ระดับน้ำ (m)	สี	กลิ่น	
1	ท้องฟ้าแจ่มใส	32.0	31.0	30.8	0.91	สีดำ	กลิ่นเหม็น	เก็บน้ำหลังฝนตก
2	มีเมฆมาก ลมสงบ	30.5	29.5	1.1	1.11	สีน้ำตาล น้ำค่อนข้างใส	กลิ่นเหม็นเล็กน้อย	-
3	ท้องฟ้าแจ่มใส ลมอ่อน	31.5	28.0	17.4	1.58	สีน้ำตาลขุ่น	กลิ่นเหม็น	เศษผักตบชวา ลอยบริเวณกลางน้ำ-ท้ายน้ำ
4	มีเมฆมาก	30.0	29.5	2.5	1.26	สีดำคล้ำ	กลิ่นเหม็นเล็กน้อย	มีคราบน้ำมัน
5	ท้องฟ้าโปร่ง	32.0	30.2	ไม่มีฝน	1.28	สีดำคล้ำ	กลิ่นเหม็นเล็กน้อย	มีคราบน้ำมัน
6	มีเมฆมาก	31.0	31.2	8.1	1.18	สีดำ	กลิ่นเหม็นเล็กน้อย	มีคราบน้ำมัน
7	มีเมฆมาก	32.0	30.8	0.2	1.24	สีดำคล้ำ	กลิ่นเหม็นเล็กน้อย	มีคราบน้ำมัน
ค่าเฉลี่ย		31.29	30.0	8.56	1.06			

หมายเหตุ: \* หมายถึง ข้อมูลปริมาณน้ำฝนอ้างอิงจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา ([www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th))

#### 4.2.2 ลักษณะทางกายภาพ

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝน		
		ช่วง	$\bar{X}$	S.D.
ความลึก	m	0.91-1.58	1.22	0.21
การนำไฟฟ้า (EC)	$\mu\text{s}/\text{cm}$	581-935	782	129
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดทั้งหมด (TDS)	mg/l	329-459	382	65
ความเค็ม (Salinity)	ppt	2.8-4.6	3.8	0.7
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	28.30-35.50	31.92	4.61
ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (SD)	m	0.08-0.11	0.09	0.01

ผลการตรวจวัดความลึกพบว่ามีความลึก 1.22 เมตร ซึ่งมีความลึกค่อนข้างสูงเนื่องจากฝนตกในปริมาณมาก ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีความลึก 782  $\mu\text{s}/\text{cm}$  แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณสารอนินทรีย์ละลายในน้ำมาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีความลึก 382 mg/l โดยปริมาณสารแขวนลอยในน้ำไม่ควรเกิน 25 mg/l (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) ทั้งนี้ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากมีการเก็บน้ำตัวอย่างในช่วงหลังฝนตก น้ำฝนได้ชะล้างสารอินทรีย์จากผิวหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีปริมาณสูง สำหรับค่าความเค็มมีความลึก 3.8 ppt ซึ่งจัดอยู่ในระดับน้ำกร่อย ส่วนค่าความขุ่น พบว่ามีความลึก 31.92 NTU เกิดจากการปนเปื้อนของสารแขวนลอย ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำ ทั้งนี้เมื่อแสงส่องลงไปกระทบสารปนเปื้อนดังกล่าว สารกลุ่มนี้สามารถให้แสงบางส่วนผ่านเข้าไปได้ แต่เกิดการหักเหระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ และแสงบางส่วนถูกดูดซับเอาไว้ จึงทำให้มองเห็นเป็นน้ำขุ่น ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการส่องผ่านของแสงที่พบว่ามีค่าเฉลี่ย 0.09 เมตร โดยอาจเกิดจากการที่น้ำถูกปั่นกววนเนื่องจากฝนตก จึงอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนต่างๆ

#### 4.2.3 ลักษณะทางเคมี

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมี

พารามิเตอร์	หน่วย	ฤดูฝน		
		ช่วง	$\bar{X}$	S.D.
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.02-7.19	7.12	0.06
สภาพด่าง (Alkalinity)	-	120.00-208.33	180.83	35.13
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/l	2.30-6.49	2.17	1.90
ซีโอดี (COD)	mg/l	29.33-81.89	60.95	16.20
ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )	mg/l	0.55-1.11	0.85	0.91
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	mg/l	0.64-1.24	1.00	0.21
ปริมาณเจลาทินไนโตรเจน (TKN)	mg/l	3.14-5.38	4.08	0.76
ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )	mg/l	0.05-0.11	0.07	0.02
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	mg/l	3.15-5.39	4.15	0.79

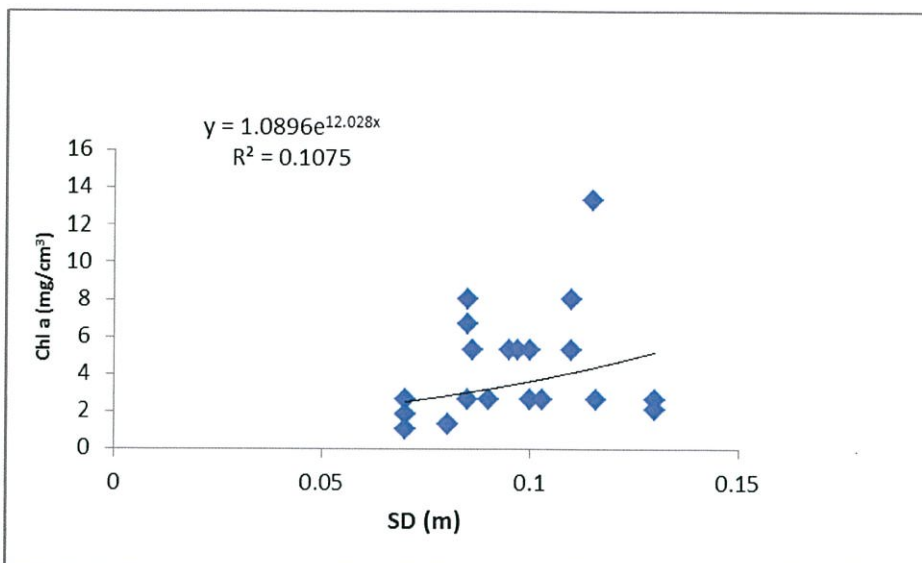
หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีหน่วย

ผลการตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำ ดังตารางที่ 4.4 พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.12 สภาพต่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 180.83 โดยสภาพต่างจะเป็นเครื่องชี้วัดความสามารถของน้ำที่จะสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยปกติสภาพต่างมีค่าอยู่ในช่วง 10-200 (APHA, AWWA and WPCF, 1992) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าแหล่งน้ำนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างอย่างรวดเร็ว ขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ย 2.17 mg/l ซึ่งค่อนข้างต่ำ ยกเว้นในครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าสูง คือ 6.49 mg/l อาจเนื่องจากเก็บตัวอย่างน้ำหลังฝนตกค่าที่ได้เกิดจากการปั่นกววนของน้ำ ทำให้วัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าซีไอดีที่มีค่าเฉลี่ย 60.95 mg/l สำหรับปริมาณสารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ พบว่าฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเฉลี่ย 1.00 mg/l และปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าเฉลี่ย 0.85 mg/l การที่ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าสูง เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดสารอาหารจากหลายแหล่ง เช่น ผงซักฟอก ปุ๋ย กิจกรรมต่างๆ ของชุมชนบริเวณโดยรอบ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเจลาตินไนโตรเจน ที่มีค่าเฉลี่ย 4.08 mg/l อีกทั้งยังสอดคล้องกับปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ที่มีค่าเฉลี่ย 0.07 mg/l ซึ่งอาจมาจากการที่ชุมชน ใช้น้ำคลองเป็นที่รองรับน้ำทิ้งจากกิจกรรมในครัวเรือน โดยสังเกตจากท่อระบายน้ำทิ้งของชุมชนที่ไหลลงสู่ลำคลอง ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ย 4.15 mg/l

#### 4.2.4 การจัดระดับชั้นของสารอาหารในแหล่งน้ำ

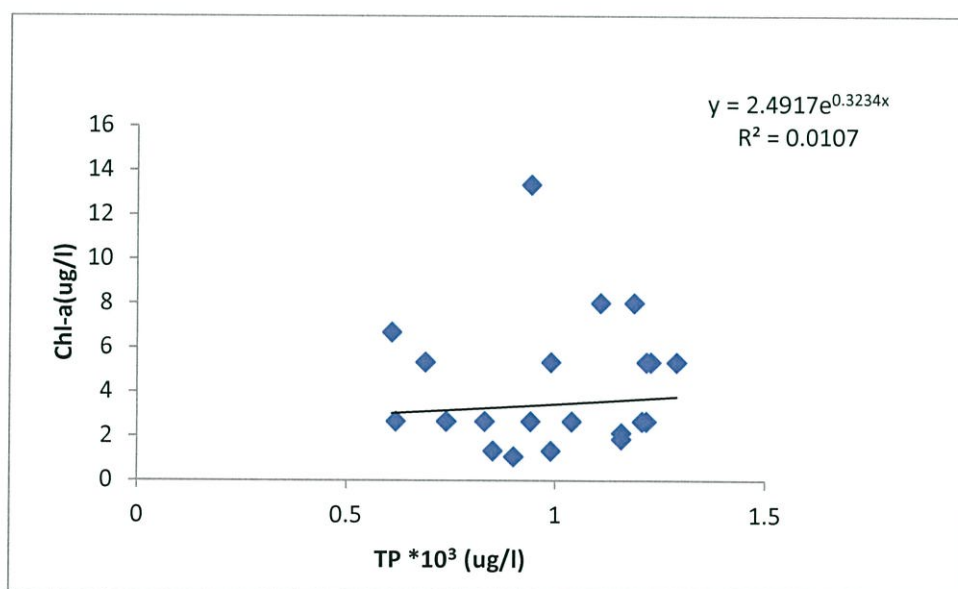
ในงานวิจัยนี้ใช้ดัชนีชี้วัดของคาร์ลสัน (Carlson Index) โดยพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ความสามารถในการส่องผ่านของแสง และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ใช้ข้อมูลการวิจัยของ เกียรติภูมิวรรณวิภาและวรวิทย์, 2558)

จากการวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้พบ พบว่า ค่า  $TSI_{TP}$  อยู่ระหว่าง 97.32-106.86 (เกิน 70) จัดอยู่ในระดับชั้น Hypereutrophic ค่า  $TSI_{TN}$  อยู่ระหว่าง 170.71-178.45 (เกิน 70) จัดอยู่ในระดับชั้น Hypereutrophic ค่า  $TSI_{SD}$  อยู่ระหว่าง 90.57-96.42 (เกิน 70) ซึ่งอยู่ในระดับชั้น Hypereutrophic และค่า  $TSI_{Chl-a}$  อยู่ระหว่าง 35.75-51.01 (ไม่เกิน 70) จัดอยู่ในระดับชั้น Mesotrophic ดังรูปที่ 4.5 จากการประเมินพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีน้อย ในขณะที่ปริมาณสารอาหารพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัสทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมดมีสูงมาก รวมถึงความสามารถในการส่องผ่านของแสงที่บ่งชี้ว่าสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำมีมาก ดังนั้นจึงสามารถจัดระดับชั้นของสารอาหารเหล่านี้ให้อยู่ในระดับ Hypereutrophic ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จัดอยู่ในระดับชั้น Mesotrophic ซึ่งอาจเกิดจากในแหล่งน้ำมีค่าสารแขวนลอยที่ไม่ได้เกิดจากแพลงก์ตอนพืชอยู่มากทำให้การเลือกใช้พารามิเตอร์ความสามารถในการส่องผ่านของแสงไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ประเมินในลำคลองที่ตะกอนแขวนลอยมาจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยจากกราฟความสัมพันธ์พบว่า ค่าความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่สัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 4.2

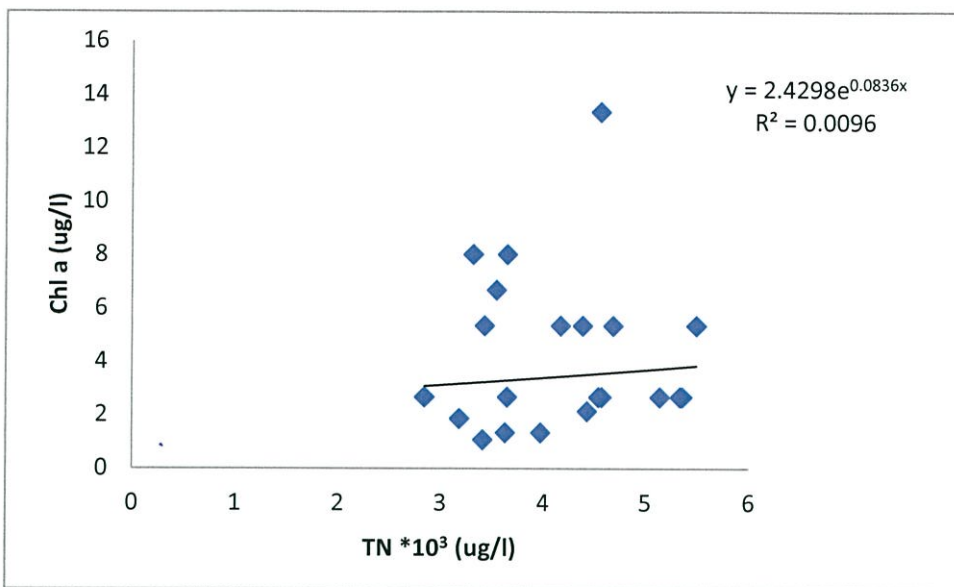


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

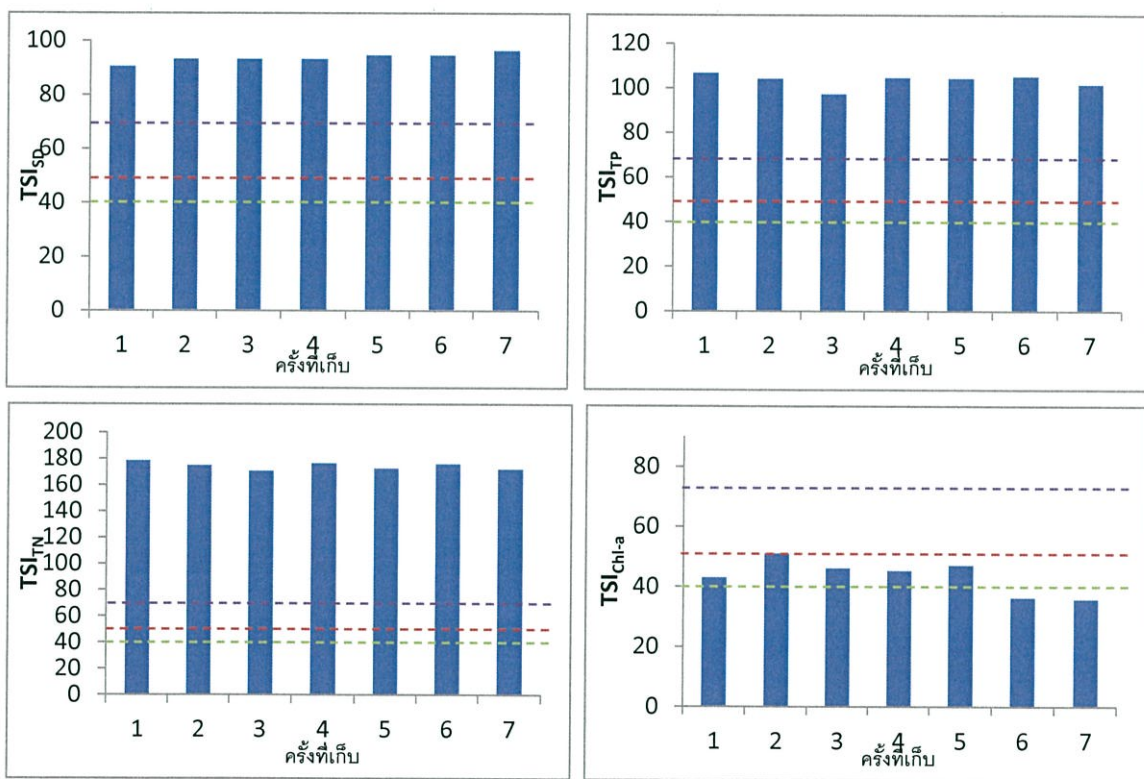
สำหรับปริมาณสารอาหาร ทั้งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ที่มีมากในคลองตะเข้ขบ อาจเกิดจากในช่วงที่เก็บตัวอย่างน้ำในเดือนตุลาคมเป็นฤดูฝน น้ำฝนจะไหลผ่านผิวหน้าดินชะล้างสารอาหาร ขยะ และปุ๋ยจากการเกษตรจากพื้นที่โดยรอบลงสู่แหล่งน้ำ รวมถึงสารอาหารภายในแหล่งน้ำที่มาจากการย่อยสลายของดินตะกอนเนื่องจากยังไม่เคยมีการขุดลอกคลอง และจากการพิจารณาอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด (TN/TP ratio) พบว่ามีค่าต่ำกว่า 10 (การคำนวณดังภาคผนวก ข-2-12) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและผลจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ



- Oligotrophic (<40)
- Mesotrophic (40-50)
- Eutrophic (51-70)
- > Hypertrophic (>70)

รูปที่ 4.5 การแบ่งระดับชั้นของสารอาหาร TSI<sub>SD</sub>, TSI<sub>TP</sub>, TSI<sub>TN</sub>, TSI<sub>Chl-a</sub>

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้ขบ โดยทำการศึกษาจากพารามิเตอร์ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 mg/l 6.38 mg/l และ 8.27 mg/l ตามลำดับ จากการประเมินคุณภาพน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 4 เมื่อพิจารณาจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 5 เมื่อพิจารณาจากบีโอดีและแอมโมเนียไนโตรเจน ในการประเมินตามดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินทั่วไป (WQI) คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม เมื่อพิจารณาจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมมาก เมื่อพิจารณาจากบีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจน จากการวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร ตามดัชนีชีวิตของคาร์ลสัน โดยทำการศึกษาจากพารามิเตอร์ ได้แก่ ความสามารถในการส่องผ่านของแสง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่า ความสามารถในการส่องผ่านของแสงอยู่ในช่วง 90.57-96.42 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 97.32-106.86 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 170.71-178.45 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับขั้น Hypertrophic หรืออยู่ในระดับขั้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารมาก ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วง 35.75-51.01 ซึ่งจัดอยู่ในระดับขั้น Mesotrophic หรืออยู่ในระดับขั้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารปานกลาง

จากการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในคลองตะเข้ขบนั้นอยู่ในสถานะที่มีความเสื่อมโทรมมาก ดังนั้นควรได้รับการแก้ไขโดยการลดปริมาณสารอาหารทั้งที่มาจากภายนอกและภายในแหล่งน้ำ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการประเมินคุณภาพน้ำ และปริมาณสารอาหารในลำคลองควรทำการเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมทุกฤดูกาล หรืออย่างน้อยเป็นระยะเวลา 1 ปี
2. ควรเก็บตัวอย่างดินตะกอน เพื่อใช้ประเมินการปลดปล่อยสารอาหารเข้าสู่ระบบใหม่ โดยเฉพาะฟอสฟอรัส

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2552. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2554. เอกสารประกอบการสัมมนาทบทวนการกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน แม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2544. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ครณิน และคณะ. 2555. “การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในสระมรกต.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ชัยวัฒน์ ประภระเค. 2554. สาหร่ายสีเขียวหรือการเจริญเติบโตมากเกินไปของสาหร่ายน้ำ (Algae Bloom). แหล่งที่มา: <http://www.reo10.go.th/forum/index.php?topic=721.0>, 16 กุมภาพันธ์ 2557.
- ชาญณรงค์ แก้วเล็ก. 2531. “สหสัมพันธ์ของสารอาหารบางชนิดและการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวง.” ค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต (การสอบชีววิทยา) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่
- ธีรศักดิ์ สมดี. 2540. การกระจายของแพลงค์ตอนพืช *Mycrocystis aeruginose* Kutz ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา ปี 2539-2540. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 102 หน้า.
- นันทนา คชเสนี. 2539. คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นันทนา คชเสนี. 2544. คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- นิคม ละอองศิริวงศ์ และ ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2548. สภาวะยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา, น.473-480. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 ( สาขาประมง ทรัพยากรธรรมชาติและเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม ).
- พงศ์เทพ สุวรรณวารี. 2554. แนวโน้มการเกิดและแนวทางการป้องกันปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ภาสพล ธรรมตันดิหิรัญ, จงกลณี วรรณเพ็ญสกุล, สุวัฒน์ พาหุสุวัฒน์ และ ตรีดำรง ศิริดำรง.

2555. การแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาน้ำเน่าเสีย เนื่องจากสาหร่ายมีพิษเกิดการบลูมในอ่างเก็บน้ำ ห้วยสงสัย โดยเคมีบำบัดและบูรณาการวิธี. กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัย และพัฒนากรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ . 2528. สมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 37-43, กรุงเทพฯ
- รัฐชา ชัยชนะ. 2558. การฟื้นฟูระบบนิเวศแหล่งน้ำนิ่ง. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัฐชา ชัยชนะ และ พงษ์ศักดิ์ หนูพัน. 2557. “ผลการกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.” วิศวกรรมสาร มก. 88(27):57-68.
- ศิริพล กำแพง. 2557. การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สุวัจน์ ธีรุต. 2557. “มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง.” สงขลา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- หนังสือพิมพ์เดลินิวส์. 2555. กรมชลประทานขอพระราชดำริแก้ปัญหาเน่าเสีย “สาหร่ายบลูม”. 10 กรกฎาคม 2555. แหล่งที่มา: <http://www.dailynews.co.th/agriculture/135000>, 16 กุมภาพันธ์ 2557.
- หนังสือพิมพ์แนวหน้า. 2554. เตือนปรากฏการณ์“ยูโทรฟิเคชัน” นักวิจัยพบหลายจุดในลำตะคองเตือนกระทบระบบนิเวศในน้ำ. 21 กรกฎาคม 2554 แหล่งที่มา: <http://www.naewna.com/news.asp?ID271542>, 16 กุมภาพันธ์ 2557.
- อัคร คำเมือง. 2553. แนวทางพัฒนาชุดตรวจสอบยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำจืดอย่างง่าย: กรณีศึกษาจังหวัดปทุมธานีและจังหวัดนครนายก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์ และคณะ. 2553. “พลวัตของธาตุอาหารพืช ยูโทรฟิเคชัน และเบตาบอลลิมของระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย.” วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 6(2) : 1-18”
- Andinet Tekile, Ilho Kim and Jisung Kim. 2015. “Mini-review on river eutrophication and bottom improvement techniques, with special emphasis on the Nakdong River.” *Journal of Environmental Sciences* 30(2015) : 113-121.
- APHA, AWWA and WPCF . 1992. **Standard Method for Examination Water and Waste Water.** American Public Health Association. Washington DC.
- Baban, S.M.J. 1996. Trophic classification and ecosystem checking of lakes using

- remotely sensed information. *Hydrological Sciences Journal* 41(6) : 939-957.
- Burris, V. 1998. **Hypolimnetic Aerators: Predicting Oxygen Transfer and Water Flow Rate**. M.S.Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Chaichana R, B. Moss and R. Leah. 2010. Birds as eutrophication agents: a nutrient budget for a small lake in a protected area. *Hydrobiologia* 646(1) : 111-121.
- Chaichana, C. Arunlertaree, B. Sricharoendham and N. Veeravaitaya. 2003. Quantity and Distribution of plant nutrients on eutrophication in Bang Pra reservoir, Chonburi province. *Kasetsart Journal* 37(1) :90-100
- Carlson, R.E. and J. Simpson. 1996. **A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods**. North American Lake Management Society. pp. 96.
- Dodds, W. and M. Whiles. 2002. **Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology**. Elsevier, California, USA. pp. 811.
- Dodds, W.W. Bouska, J.L. Eitzmann, T.J. Pilger, K.L. Pitts, A.J. Riley, J.T. Schloesser and D.J. Thornbrugh. 2009. Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environmental Sciences Technology* 43(1): 12-19.
- Florida Lakewatch. 2007. **A Beginner's Guide to Water Management : Aquatic Plants in Florida Lake**. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Florida, USA. pp. 47.
- Haijun Wang and Hongzhu Wang. "Mitigation of lake eutrophication : Loosen Nitrogen control and focus on phosphorus abatement." 2009. *Progress in Natural Science* 19(2009) : 1445-1451.
- Harper, D. 1992. **Eutrophication of freshwater : Principles problems and restoration**. Chapman & Hall, London. Pp. 327.
- Jørgensen, S.E., H. Löffler, W. Rast and M. Straškrab. 2005. **Lake and Reservoir Management : Development in Water Sciences**. Elsevier, Ltd, Amsterdam the Netherlands. pp. 502.
- Kumar, A. 2008. **Hypolimnetic withdrawal for lake restoration**, pp. 812-818. *In* Proceedings of the 12<sup>th</sup> World Lake Conference.
- Liping Wang, Lusan Liu and Binghui Zheng. 2013. "Eutrophication development and its key regulating factors in a water-supply reservoir in North China."

- Journal of Environmental Sciences* 25(5) : 962-970.
- Mason, C. F. 1991. **Biology of Freshwater Pollution**. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, Hong Kong. Pp. 351.
- Meybeck, E. Kuusisto, A. Makela and E. Malkki. 1996. Water Quality, 9-33. *Cited* Bartram, J. and R. Balance. **Water Quality Monitoring**. 1<sup>st</sup> ed. E and FN Spon, London.
- Min, Q.W. and Y.L. Jiao. 2002. Effects of Agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure. **Acta Ecologica Sinica** 22(3) : 291-299.
- Moss, B. 1997. Conservation problems in the Norfolk broads and rivers of East Anglia, England – Phytoplankton, boats and the causes of turbidity. **Biological Conservation** 12(2) : 95-14.
- Moss, J. Madgwick and G. Phillips. 1996. **A Guide to the Restoration of Nutrient-Enriched Shallow Lakes**. Environment Agency and Broads Authority, Norwich.
- M.Z. Iqbal, E.J. Brown and M.E. Clayton. 2006. “Distribution of phosphorus in a biologically restricted lake in Iowa, USA.” **Journal of Hydrology** 326(2006) : 349-366.
- Ongley, E.D. 1996. **Control of Water Pollution from Agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome.
- Oosterhout, F.V. and M. Lurling. 2013. The Effects of phosphorus binding clay (Phoslock) in mitigating cyanobacterial nuisance: a laboratory study on the effects on water quality variables and plankton. **Hydrobiologia** 710(1) : 265-277
- Organisation for Economic Cooperation and Development (O.E.C.D). 1982. **Eutrophication of Water, Monitoring, Assessment and Control**. OECD, Paris.
- Ospar. 2001. **Meeting of the Eutrophication Committee (ECE)**. Current status of elaborated ecological quality objective for the Greater North Sea with regard to nutrients and eutrophication effects (EcoQOs-eutro). Berlin : 26-30 November 2001.
- Redfield A.C. 1934. **On the Proportions of Organic Derivations in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton**, pp. 177-192. *Cited* James Johnstone Memorial Volume. University Press of Liverpool.

- Sherve, B.R., P.A. Moore, Jr., T.C. Daniel, D.R. Edwards and D.M. Miller. 1995. Reduction of phosphorus in runoff from field-applied poultry litter using chemical amendments. **Journal of Environmental Quality** 24(1) : 106-111.
- Shouliang Huo. 2013. "Establishing eutrophication assessment standards for four lake regions, China." **Journal of Environmental Sciences** 25(10) : 2014-2022.
- Smith, D.R., P.A. Moore, Jr., C.L. Griffis, T.C. Daniel, D.R. Edwards and D.L. Boothe. 2001. Effects of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure. **Journal of Environmental Quality** 30 : 992-998
- Smith, S.A., D.R. Knauer, and T.L. Wirth. 1975. **Aeration as a Lake Management Technique**. Wisconsin Department of Natural Resources Technical bulletin, Wisconsin Department of Natural Resource. pp. 39.
- Smith, V.H. and D.W. Schindler. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution** 24(4) : 201-207
- Walker, W.W. Jr. 1983. Significance of eutrophication in water supply reservoir. **Journal of American Water Work Association** 75(1) : 38-42
- Zappi, P.A. and D.F. Hayes. 1991. **Innovative Technologies for Dredging Contaminated Sediments**. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA. pp. 55.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
วิธีการวิเคราะห์

## 1. การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด ( Closed Reflux, Titrimetric Method )

### 1.1) การทดลอง

- 1.1.1) ล้างหลอดทดลองและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- 1.1.2) เติมตัวอย่างน้ำลงในหลอดทดลอง 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 1.5 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 3.5 มิลลิลิตร ให้เกิดชั้นกรดอยู่ที่ก้นแก้ว ปิดฝาให้แน่น แล้วกลับไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี ข้อควรระวัง ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะกลับหลอดแก้วไปมา และควรผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อนเพื่อป้องกันการระเบิด
- 1.1.3) นำหลอดทดลองใส่ตู้อบที่ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 1.1.4) เทสารละลายจากหลอดทดลองลงในขวดรูปชมพู่ ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดทดลองให้หมด เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตกับ FAS 0.05 นอร์มัล จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแดง
- 1.1.5) ทำแบลนด์ทุกครั้ง โดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำ

### 1.2) การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มิลลิกรัม O}_2\text{/ลิตร)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ( NH<sub>3</sub>-N ) ด้วยวิธีการกลั่น

### 2.1) การทดลอง

- 2.1.1) ตวงน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย 400 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเจลดาร์ล เติมบอเร็ตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้ว 3-4 เม็ด แล้วนำไปกลั่นจนกระทั่งได้ส่วนที่กลั่นออกมาประมาณ 250 มิลลิลิตร
- 2.1.2) ปิเปตตัวอย่างน้ำ 300 และ 400 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเจลดาร์ล
- 2.1.3) เติมบอเร็ตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร นำขวดไปกลั่น โดยให้ปลายของส่วนที่กลั่นออกมาจมอยู่ใต้สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ กลั่นจนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 250 มิลลิลิตร
- 2.1.4) นำส่วนที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน โดยเทียบสีจากการใช้น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ 50 มิลลิลิตร
- 2.1.5) จดบันทึกปริมาตร

### 2.2) การคำนวณ

$$\text{NH}_3\text{-N ( มิลลิกรัมN/ลิตร )} = \frac{(A-B) \times N \times 280}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

### 3. การวิเคราะห์หาปริมาณทีเคเอ็นในโตรเจน ( TKN )

#### 3.1) การทดลอง

- 3.1.1) เตรียมตัวอย่างน้ำปริมาตร 150 และ 250 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดเจลดาร์ล
- 3.1.2) เติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มิลลิลิตรนำไปย่อยที่เตาให้ความร้อน ต้มจนปริมาตรลดลงเหลือประมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เจือจางด้วยน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วค่อย ๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร นำไปต่อกับเครื่องกลั่นจากนั้นจึงค่อยๆเขย่าให้เข้ากัน ให้ส่วนที่กลั่นออกมาจุ่มอยู่ที่สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ กลั่นจนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 250 มิลลิลิตร
- 3.1.3) นำส่วนที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล เมื่อถึงจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน โดยเทียบสีจากน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เติมกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ 50 มิลลิลิตร
- 3.1.4) ทำแปลงค์เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำกลั่น โดยทำทุกขั้นตอนเช่นเดียวกับการหาในตัวอย่าง ยกเว้น ไม่ต้องนำไปย่อยสลาย

#### 3.2) การคำนวณ

$$\text{ทีเคเอ็น ( มิลลิกรัม N / ลิตร )} = \frac{(A-B) \times N \times 280}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

#### 4. การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ด้วยวิธีบลูซีน

##### 4.1) การทดลอง

- 4.1.1) เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรต ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 1 ,2 ,3 ,4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร เติมน้ำกลั่นให้แต่ละขวดมีปริมาตรครบ 10 มิลลิลิตร ซึ่งแต่ละขวดจะมีความเข้มข้น 2 ,4 ,6 ,8 และ 10 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- 4.1.2) ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 มิลลิลิตร นำหลอดตัวอย่างน้ำ แบลงค์ สารละลายมาตรฐานที่จัดเตรียมไว้มาเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนในหลอดทดลองทุกหลอดให้เข้ากัน
- 4.1.3) นำทุกหลอดมาแช่ในน้ำเย็นจัด เติมซัลฟูริก 4+1 จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น เติม 0.5 มิลลิลิตร ของสารละลายบลูซีน-กรดซัลฟานิลิก เขย่าให้เข้ากัน นำหลอดใส่เครื่องอังน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงนำไปแช่ในน้ำเย็น จนอุณหภูมิของหลอดทดลองเท่ากับอุณหภูมิห้อง
- 4.1.4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าการดูดกลืนแสง โดยหาค่าแบลงค์ออกจากตัวอย่างน้ำและสารละลายมาตรฐานที่อ่านได้

##### 4.2) การคำนวณ

$$\text{ไนเตรตไนโตรเจน ( มิลลิกรัมN/ลิตร )} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟในหน่วยไมโครกรัม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ ( มิลลิลิตร )}}$$

## 5. การวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟต ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) ด้วยวิธีแอสคอบิกแอซิด

### 5.1) การทดลอง

- 5.1.1) เตรียมกราฟมาตรฐานโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 0, 2, 6, 10, 16 และ 24 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 15, 25, 40 และ 60 ไมโครกรัม/ลิตร
- 5.1.2) ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 30 มิลลิลิตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 5.1.3) นำสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าการดูดกลืนแสง

### 5.2) การคำนวณ

$$\text{ฟอสเฟต (มิลลิกรัมP/ลิตร) } = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟในหน่วยไมโครกรัม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ ( มิลลิลิตร )}}$$

## 6. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

### 6.1) การทดลอง

- 6.1.1) เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 0, 2, 6, 10, 16 และ 24 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 15, 25, 40 และ 60 ไมโครกรัม/ลิตร
- 6.1.2) ใส่ตัวอย่างน้ำปริมาตร 30 และ 40 มิลลิลิตร ลงในถ้วยระเหย เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร
- 6.1.3) นำไปย่อยในตู้ดูดควันจนปริมาตรตัวอย่างน้ำเหลือเพียง 1 มิลลิลิตร และย่อยสลายต่อไปเพื่อไล่กรดไนตริกจนกว่าสารละลายจะใสไม่มีสี ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด และปรับพีเอชให้เป็น 8.3
- 6.1.4) เทสารละลายใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 6.1.5) นำสารละลายมาตรฐาน และตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าการดูดกลืนแสง

### 6.2) การคำนวณ

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟในหน่วยไมโครกรัม}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ทำมาเจือจาง}} \times \frac{100}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

## 7. การวิเคราะห์หาสภาพต่าง

### 7.1) การทดลอง

- 7.1.1) ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 20 มิลลิลิตร หยดบรอมกลีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า
- 7.1.2) ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานทึดยูมิกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จน สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน
- 7.1.3) จดบันทึกปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ คำนวณหาสภาพต่าง

### 7.2) การคำนวณ

$$\text{สภาพต่าง} = \frac{\text{มิลลิลิตรของกรดซัลฟูริก} \times \text{ความเข้มข้นของกรด ( นอร์มัล )} \times 50000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ}}$$

## 8. การวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีธรรมดา

### 8.1) การทดลอง

- 8.1.1) บรรจุน้ำที่พ่นออกซิเจน 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 °C ลงขวดบีโอดี 2 ขวด ให้เติมขวดด้วยวิธีกาลักน้ำและให้ไหลรินลงตามคอขวด โดยขวดที่ 1 ทำการวัดค่าดีไอทันที เป็นค่า DO<sub>0</sub> ขวดที่ 2 นำไปบ่มที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีไอเป็น DO<sub>5</sub> ขณะที่บ่มต้องมีน้ำหล่อบนฝาจุกแก้วและปิดจุกพลาสติกครอบที่จุกแก้วอีกครั้ง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่หล่อบนจุกแก้ว ค่า DO<sub>0</sub> - DO<sub>5</sub> ต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามากกว่าแสดงว่ามีผลต่อการวิเคราะห์
- 8.1.2) บีเปิดสารละลายกลูโคส และกลูตามิกปริมาตร 5 มิลลิตร ลงในขวดบีโอดี เติมน้ำสำหรับเจือจางให้เต็มขวดด้วยวิธีกาลักน้ำและให้ไหลรินลงตามคอขวด จำนวน 3 ขวด ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศภายใน วัดค่าดีไอขวดที่ 1 ทันที เป็น DO<sub>0</sub> ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีไอเป็น DO<sub>5</sub> ขณะที่บ่มต้องมีน้ำหล่อบนฝาจุกแก้วและปิดจุกพลาสติกครอบที่จุกแก้วอีกครั้ง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่หล่อบนจุกแก้ว
- 8.1.3) เติมน้ำสำหรับเจือจางลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตรด้วยวิธีกาลักน้ำ ประมาณ 500 มิลลิตร บีเปิดตัวอย่างน้ำปริมาตร 20, 50 และ 100 มิลลิตร โดยจุ่มปลายบีเปิดลงใต้ผิวน้ำ จากนั้นเติมน้ำสำหรับเจือจางให้ไหลรินลงตามข้างกระบอกตวงจนมีปริมาตรครบ 1 ลิตร ใช้แท่งแก้วคนชั้นลงเบาๆ ให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วค่อยๆ เติมลงขวดบีโอดีด้วยวิธีกาลักน้ำให้ไหลลงตามคอขวดเบาๆ จนเต็มและไม่มีฟองอากาศ เมื่อปิดจุกต้องมีน้ำหล่อค้ำอยู่ วัดค่าดีไอขวดที่ 1 ของแต่ละชุดทันทีเป็นค่า DO<sub>0</sub> ขวดที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุด นำไปบ่มที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีไอเป็น DO<sub>5</sub>

### 8.2) การคำนวณ

$$\text{BOD} = \frac{D1 - D2}{P}$$

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

## ผลการทดลองการศึกษาคูณภาพน้ำในคลองตะเข็บ

### ตารางที่ ข-1 การศึกษาคูณภาพน้ำในคลองตะเข็บ

พารามิเตอร์	หน่วย	คลองตะเข็บ		
		ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1.ความลึกของคลอง	m	0.78	0.77	0.78
2.ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.41	7.37	7.40
3.อุณหภูมิ	°C	31.20	31.40	31.60
4.ออกซิเจนละลายน้ำ	mg/l	2.97	2.96	2.91
5.การนำไฟฟ้า	µs/cm	1048	839	724
6.ของแข็งละลายน้ำ	mg/l	520	410	353
7.ความเค็ม	ppt	5.20	4.10	3.50
8.ซีโอดี	mg/l	38.67	46.67	48.00
9.แอมโมเนียไนโตรเจน	mg/l	7.70	9.89	7.21
10.ทีเคเอ็น	mg/l	8.51	8.18	8.01
11.ไนเตรตไนโตรเจน	mg/l	0.16	0.13	0.12
12.ฟอสฟอรัสทั้งหมด	mg/l	2.17	2.15	2.15
13.ออร์โธฟอสเฟต	mg/l	1.73	1.46	1.45
14.บีโอดี	mg/l	6.26	6.53	6.36

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีหน่วย

ผลการทดลองการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิซันในคลองตะเข้ซบ

ตารางที่ ข-2-1 ความลึกของน้ำ

ครั้งที่เก็บ	ความลึกของน้ำ (m)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	0.79	1.03	0.92
2	1.10	1.16	1.08
3	1.26	1.30	1.25
4	1.50	1.50	1.75
5	1.20	1.25	1.40
6	1.15	1.10	1.30
7	1.21	1.17	1.35

ตารางที่ ข-2-2 ความเป็นกรด-ด่าง

ครั้งที่เก็บ	ความเป็นกรด-ด่าง		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	7.07	7.04	6.96
2	7.07	7.12	7.14
3	7.12	7.15	7.13
4	7.07	7.11	7.14
5	7.18	7.19	7.17
6	7.20	7.19	7.18
7	7.10	7.10	7.08

ตารางที่ ข-2-3 อุณหภูมิของน้ำ

ครั้งที่เก็บ	อุณหภูมิของน้ำ (°C)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	31.10	31.20	30.50
2	29.70	29.70	29.30
3	27.80	28.10	28.10
4	29.30	29.70	29.70
5	30.20	30.20	30.10
6	31.10	31.10	31.30
7	30.70	30.70	30.90

ตารางที่ ข-2-4 ออกซิเจนละลายน้ำ

ครั้งที่เก็บ	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	5.37	6.79	7.32
2	1.18	1.89	1.16
3	2.06	1.62	1.64
4	2.37	1.95	2.57
5	0.98	0.96	0.96
6	0.92	0.91	1.06
7	0.91	1.44	1.48

ตารางที่ ข-2-5 การนำไฟฟ้า

ครั้งที่เก็บ	การนำไฟฟ้า ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	932	922	952
2	856	876	884
3	994	801	810
4	582	597	564
5	662	666	698
6	871	850	829
7	681	682	717

ตารางที่ ข-2-6 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ครั้งที่เก็บ	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/l)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	458	453	468
2	419	430	434
3	489	390	394
4	283	290	274
5	322	324	341
6	429	416	406
7	332	334	351

ตารางที่ ข-2-7 ความเค็ม

ครั้งที่เก็บ	ความเค็ม (ppt)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	4.6	4.5	4.7
2	4.2	4.3	4.3
3	4.9	3.9	3.9
4	2.8	2.9	2.7
5	3.2	3.2	3.4
6	4.3	4.3	4.1
7	3.3	3.3	3.5

ตารางที่ ข-2-8 ซีโอดี

ครั้งที่เก็บ	ซีโอดี (mg/l)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	64.00	69.33	69.33
2	69.33	64.00	56.00
3	37.33	69.33	58.67
4	26.67	37.33	24.00
5	58.67	69.33	66.67
6	69.33	72.00	77.33
7	85.33	69.33	66.67

ตารางที่ ข-2-9 ทีเคเอ็น

ครั้งที่เก็บ	ทีเคเอ็น (mg/l)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	5.26	5.38	5.26
2	4.31	4.09	3.92
3	5.04	4.48	4.37
4	2.80	3.36	3.14
5	3.58	3.47	3.58
6	4.48	4.59	4.48
7	3.58	3.25	3.36

ตารางที่ ข-2-10 ไนเตรตไนโตรเจน

ครั้งที่เก็บ	ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	0.100	0.112	0.077
2	0.082	0.086	0.057
3	0.096	0.094	0.064
4	0.053	0.070	0.046
5	0.068	0.073	0.052
6	0.085	0.096	0.065
7	0.068	0.068	0.049

ตารางที่ ข-2-11 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ครั้งที่เก็บ	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	5.36	5.49	5.34
2	4.39	4.18	3.98
3	5.14	4.57	4.43
4	2.85	3.43	3.19
5	3.65	3.54	3.63
6	4.56	4.69	4.54
7	3.65	3.32	3.41
ค่าเฉลี่ย	4.23	4.17	4.07

ตารางที่ ข-2-12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ครั้งที่เก็บ	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/L)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	1.22	1.29	1.21
2	1.04	1.11	0.94
3	0.74	1.23	1.22
4	0.62	0.69	0.61
5	0.99	1.19	0.94
6	0.99	1.16	1.16
7	0.85	0.83	0.90
ค่าเฉลี่ย	0.92	1.07	1.00
TN/TP ratio	4.56	3.90	4.07

ตารางที่ ข-2-13 ปริมาณออร์โธฟอสเฟส

ครั้งที่เก็บ	ปริมาณออร์โธฟอสเฟส (mg/l)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	1.03	1.19	1.11
2	0.93	0.90	0.92
3	0.62	1.02	0.92
4	0.55	0.56	0.53
5	0.85	0.86	0.80
6	0.95	1.03	1.05
7	0.72	0.65	0.73

ตารางที่ ข-2-14 สภาพต่าง

ครั้งที่เก็บ	สภาพต่าง		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	180.00	237.50	207.50
2	172.50	180.00	172.50
3	167.50	182.50	177.50
4	112.50	130.00	117.50
5	177.50	180.00	182.50
6	222.50	222.50	250.00
7	167.50	160.00	197.50

ตารางที่ ข-2-15 ความสามารถในการส่องผ่านของแสง

ครั้งที่เก็บ	ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (m)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	0.12	0.10	0.13
2	0.10	0.09	0.12
3	0.09	0.10	0.10
4	0.10	0.11	0.09
5	0.09	0.11	0.07
6	0.08	0.13	0.07
7	0.08	0.09	0.07

ตารางที่ ข-2-16 ความขุ่น

ครั้งที่เก็บ	ความขุ่นของน้ำ (NTU)		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	38.50	35.60	31.20
2	29.00	27.80	28.00
3	39.40	35.00	32.20
4	38.00	32.00	30.40
5	36.90	34.00	20.80
6	32.40	30.70	25.70
7	35.00	29.60	28.10

ภาคผนวก ค  
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ

ครั้งที่เก็บ	ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (m)			คลอโรฟิลล์ เอ ( $\mu\text{g/l}$ )		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	0.12	0.10	0.13	2.67	5.34	2.67
2	0.10	0.09	0.12	2.67	8.01	13.35
3	0.09	0.10	0.10	2.67	5.34	5.34
4	0.10	0.11	0.09	2.67	5.34	6.68
5	0.09	0.11	0.07	5.34	8.01	2.67
6	0.08	0.13	0.07	1.34	2.14	1.87
7	0.08	0.09	0.07	1.34	2.67	1.07

$H_0$  : ความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์กัน

$H_1$  : ความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

**Model Summary and Parameter Estimates**

Dependent Variable: Chla

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Exponential	.107	2.288	1	19	.147	1.090	12.028

The independent variable is SD.

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .147 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ความสามารถในการส่องผ่านของแสงกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาหาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ

ครั้งที่เก็บ	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ( $\mu\text{g/L}$ )			คลอโรฟิลล์ เอ ( $\mu\text{g/L}$ )		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	1220	1290	1210	2.67	5.34	2.67
2	1040	1110	940	2.67	8.01	13.35
3	740	1230	1220	2.67	5.34	5.34
4	620	690	610	2.67	5.34	6.68
5	990	1190	940	5.34	8.01	2.67
6	990	1160	1160	1.34	2.14	1.87
7	850	830	900	1.34	2.67	1.07

$H_0$  : ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์กัน

$H_1$  : ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ ค-4 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

#### Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: Chla

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Exponential	.011	.206	1	19	.655	2.492	.323

The independent variable is TP.

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .655 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาหาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำกับคลอโรฟิลล์ เอ

ครั้งที่เก็บ	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ( $\mu\text{g/l}$ )			คลอโรฟิลล์ เอ ( $\mu\text{g/l}$ )		
	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ท้ายน้ำ
1	5360	5492	5337	2.67	5.34	2.67
2	4390	4176	3977	2.67	8.01	13.35
3	5140	4574	4434	2.67	5.34	5.34
4	2850	3430	3186	2.67	5.34	6.68
5	3650	3543	3632	5.34	8.01	2.67
6	4560	4686	4545	1.34	2.14	1.87
7	3650	3318	3409	1.34	2.67	1.07

$H_0$  : ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์กัน

$H_1$  : ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ ค-6 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

#### Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: Chla

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Exponential	.006	.112	1	19	.742	4.514	-6.538E-5

The independent variable is TN.

การวิเคราะห์โดยโปรแกรมSPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .742 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับคลอโรฟิลล์ เอ ในการศึกษาหาแนวโน้มการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ไม่มีความสัมพันธ์กัน