บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การทดลองทั้งหมดทำในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองทั้งหมด3ชุด ๆ ละ 2 การทดลอง รวมทั้งสิ้น 6 การทดลอง โดยมีเครื่องมือทดลอง 2 ชุด บรรจุตัวกลางเหมือนกัน น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองใช้เป็นน้ำสังเคราะห์ โดยมีตัวแปรอิสระที่จะทำการศึกษาคือ

1. ระยะเวลากักเก็บน้ำ แปรเปลี่ยนค่าใน 2 ระดับคือ 10 และ 20 ชั่วโมง
2. ความเข้มข้นของไนเตรต-ไนโตรเจน ซึ่งจะแปรเปลี่ยนค่าใน 3 ระดับคือ 25,50 และ 75 มก./ล.

ตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. ไนเตรต (Nitrate)
2. ไนไตรต์ (Nitrite)
3. พีเอช (pH)
4. ความเป็นด่าง (Alkalinity)
5. ซัลเฟต (Sulfate)
6. ความขุ่น (Turbidity)
7. ความกระด้าง (Hardness)
8. ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)
9. ฟอสเฟต (Phosphate)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรองซัลเฟอร์-หินปูน แต่ไม่สามารถควบคุมได้ตลอดการทดลอง คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปรไปตามฤดูกาล ส่วนสภาวะการทำงานต่าง ๆ กำหนดเป็นแผนการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นการจัดสภาวะการทดลองแบบสุ่มตัวอย่าง (Random Variable) สาเหตุที่มีการจัดสภาวะการทดลองแบบนี้เนื่องมาจากว่ามีการใช้เครื่องมือชุดการทดลอง 2 ชุดคือ ชุด a และชุด b ซึ่งมีข้อแตกต่างกันอยู่บ้างเช่น เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็น 2 ชนิดต่างกันคือ ชุด a ใช้เครื่องสูบน้ำแบบ Diaphragm Pump ชุด b ใช้เครื่องสูบน้ำแบบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) หรือแม้แต่ตัวเครื่องกรองแบบไหลขึ้นทั้ง 2 ชุดที่มีขนาดเท่ากัน มีอัตราส่วนผสมของตัวกลางเหมือนกันแต่สภาพภายในเครื่องกรองอาจไม่เหมือนกันเลยทีเดียวนัก จึงได้มีการจัดสภาวะการทดลองแบบนี้ขึ้น เพื่อลดปัญหาเนื่องจากความแตกต่างของเครื่องมือทั้ง 2 ชุดดังกล่าว โดยทำการจัดชุดการทดลองให้กระจายกันโดยใช้ความแตกต่างของความเข้มข้นไนเตรตเป็นหลัก ในการจัดดังแสดงในตารางที่ 3.1 ส่วนเหตุที่ใช้เครื่องมือ 2 ชุดในการศึกษาวิจัยก็เพื่อที่จะทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการศึกษาทดลองได้น้อยลง

3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

1. เพาะเลี้ยงแบคทีเรียดีไนตรีไฟเออร์ชนิด Thiobacillus denitrificans บนซัลเฟอร์-หินปูน

2. เตรียมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

3. ทดลองกำจัดไนเตรต-ไนโตรเจนที่มีความเข้มข้น3ระดับคือ 25, 50 และ 75 มก./ล.

4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบภายในถังกรองและน้ำที่ออกจากระบบโดยมีข้อมูลและความถี่ดังแสดงในแผนการวิจัย

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทำงานต่าง ๆ ที่กำหนดเป็นแผนการวิจัย

ชุดของการทดลองที่	ความเข้มข้นของไนเตรต (มก./ล.)	เวลากักเก็บน้ำ (ชม.)	ไนเตรตโหลดดิง (ก./ม^3-วัน)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/วัน)
1(a)	25	20	30	4.8
3(b)	50	20	60	4.8
1(b)	75	20	90	4.8
2(b)	25	10	60	9.6
2(a)	50	10	120	9.6
3(a)	75	10	180	9.6

หมายเหตุ 1. ไนเตรตโหลดดิง คิดจากความเข้มข้นของไนเตรตในหน่วย ก./ม^3 หารด้วยเวลากักเก็บน้ำที่มีหน่วยเป็นวัน

2. ปริมาตรน้ำใช้ในแต่ละถังกรอง คิดจากปริมาตรสุทธิ (Net Volume) ภายในเครื่องกรอง

3. (a) , (b) หมายถึง ถังกรองชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

3.3 การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์

น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองใช้เป็นน้ำสังเคราะห์ที่จัดเตรียมขึ้น โดยมีส่วนประกอบของความเข้มข้นของไนเตรต 25, 50 และ75 มก/ล ตามลำดับ นอกจากนี้จะเพิ่มส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 3.2, 3.3, 3.4

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นไนเตรต 25 มก./ล.

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้นในน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียม (มก./ล.)	ปริมาณที่ใช้ (มก./วัน)	
		NL=30	NL=60
NO_3-N	25	120	240
$MgCl_2.6H_2O$	0.5	2.4	4.8
$FeSO_4.7H_2O$	0.5	2.4	4.8
$CaCl_2.2H_2O$	0.5	2.4	4.8
$MnCl_2.4H_2O$	0.5	2.4	4.8
K_2HPO_4	5.0	2.4	4.8
Tap Water (l/d)		4.8 สิตร	9.6 สิตร

หมายเหตุ NL = ไนเตรตโหลดดิง (ก./$ม^3$.-วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นไนเตรต 50 มก./ล.

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้นในน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียม (มก./ล.)	ปริมาณที่ใช้ (มก./วัน)	
		NL=60	NL=120
NO_3-N	50	240	480
$MgCl_2.6H_2O$	1.0	4.8	9.6
$FeSO_4.7H_2O$	1.0	4.8	9.6
$CaCl_2.2H_2O$	1.0	4.8	9.6
$MnCl_2.4H_2O$	1.0	4.8	9.6
K_2HPO_4	10.0	4.8	9.6
Tap Water (l/d)		4.8 ลิตร	9.6 ลิตร

หมายเหตุ NL = ไนเตรตโหลดดิง (ก./$ม^3$.-วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นไนเตรต 75 มก./ล.

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้นในน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียม (มก./ล.)	ปริมาณที่ใช้ (มก./วัน)	
		NL=30	NL=60
NO_3-N	75	360	620
$MgCl_2.6H_2O$	1.5	7.2	14.4
$FeSO_4.7H_2O$	1.5	7.2	14.4
$CaCl_2.2H_2O$	1.5	7.2	14.4
$MnCl_2.4H_2O$	1.5	7.2	14.4
K_2HPO_4	15.0	7.2	14.4
Tap Water (l/d)		4.8 ลิตร	9.6 ลิตร

หมายเหตุ NL = ไนเตรตโหลดดิง (ก./$ม^3$.-วัน)

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.4.1 ถังกรองซัลเฟอร์-หินปูนหรือถังกรองเอดี (Autotrophic Denitrification Filter หรือ AD Filter)

ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องกรองเอดีขนาดต้นแบบ (Pilot Scale) สองเครื่อง ดังรูปที่ 3.1 ถังกรองทำด้วยพลาสติกอะครีลิกเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 7.4 ซม. ท่อนละ 1 เมตร 2 ท่อนต่อกันรวมเป็น 2 เมตรและมีปริมาตร 8.6 ลิตร ด้านบนเปิด-ปิดได้ประกอบด้วยแผ่นพลาสติกอะคริลิกการประกอบใช้ปะเก็นยางกันการ

ไหลซึมของน้ำโดยมีน็อตขันรอบหน้าจาน ท่อน้ำเข้าอยู่ทางด้านล่าง ท่อน้ำออกอยู่ห่างจากฝาด้านบนประมาณ 10 ซม. ส่วนก๊าซถูกปล่อยออกด้านบน (ทางด้านฝาเจาะรู) ด้านล่างทางน้ำเข้าติดแผ่นกระจายน้ำ นอกจากนี้ที่ด้านข้างของเครื่องกรองจะติดท่อเก็บน้ำตัวอย่าง ซึ่งเป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 ซม. ซึ่งมีระยะสูงจากก้นถัง0.9เมตร ภายในถังกรองบรรจุตัวกลางเป็นซัลเฟอร์และหินปูนผสมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรทั้ง 2 เครื่องเหมือนกัน

3.4.2 <u>เครื่องสูบน้ำ</u> (Pumps)

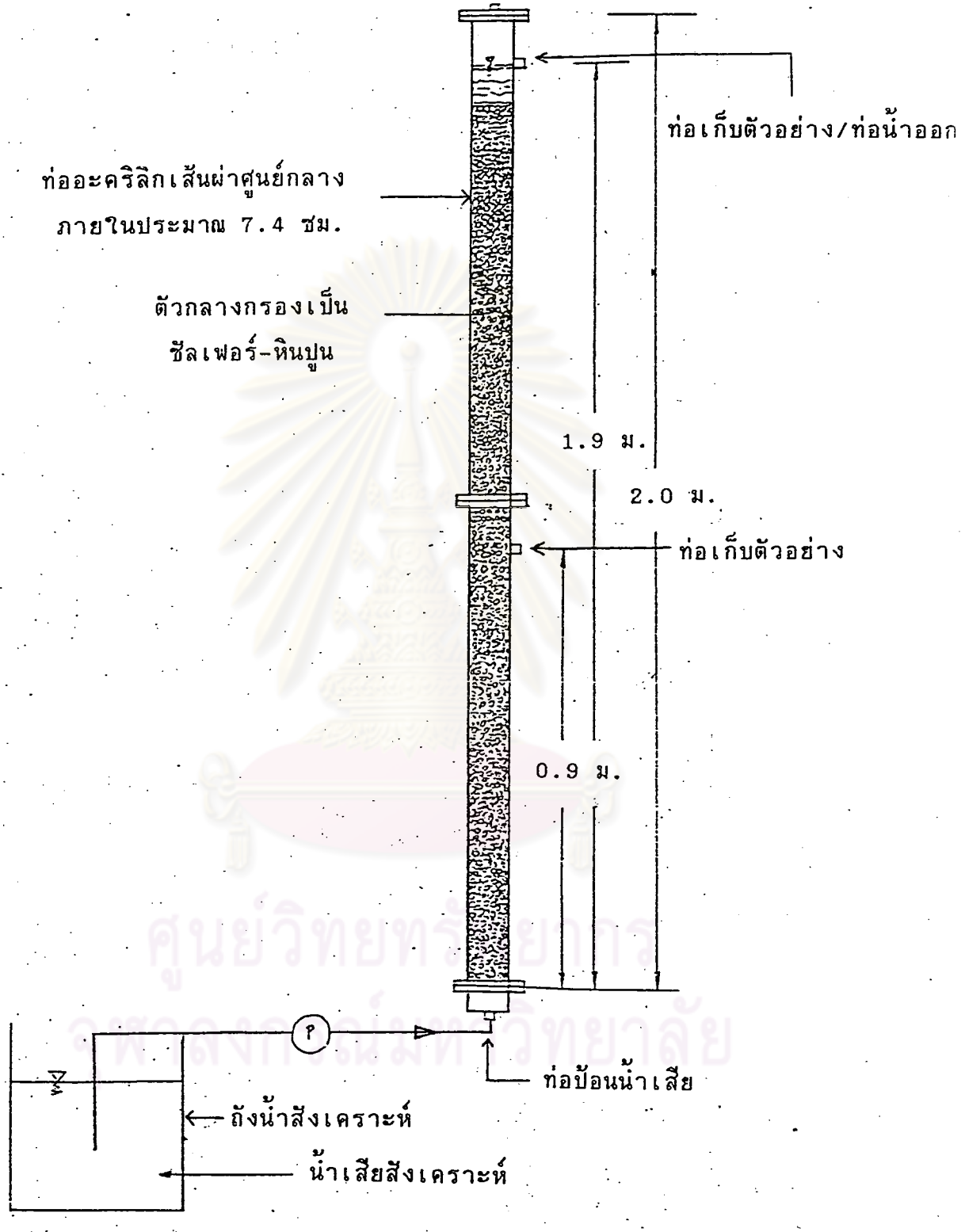
ใช้เครื่องสูบน้ำ 2 ชนิด คือ แบบ Diapharm และแบบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบ Diapharm Pump การป้อนน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่เครื่องกรองจากถังเตรียมน้ำ ใช้เครื่องสูบน้ำแบบ Diapharm ของบริษัท ProMinet จากประเทศเยอรมันตะวันตก รุ่น Gamma /4W.

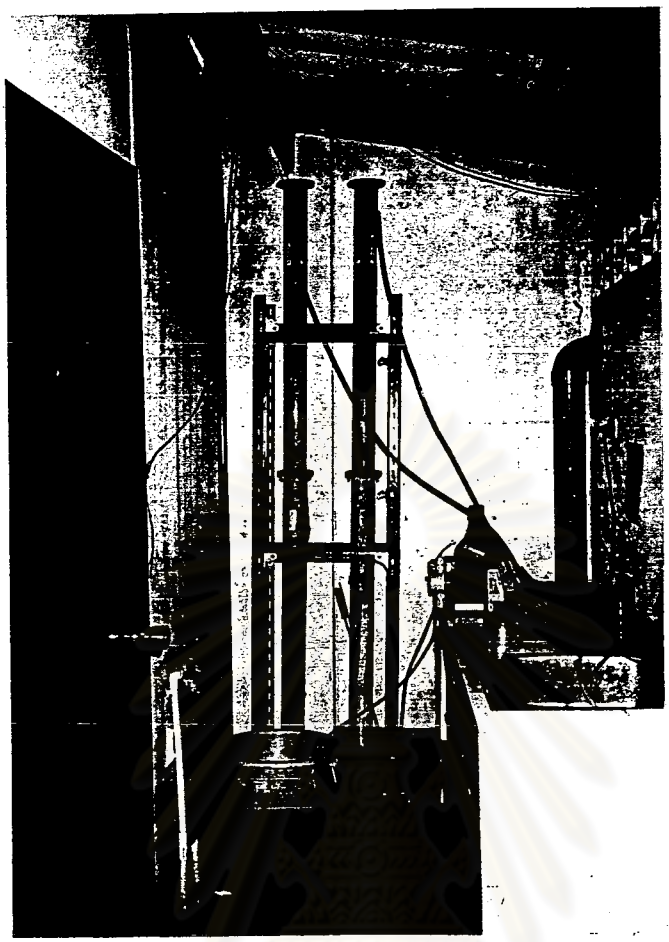
เครื่องสูบน้ำแบบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) ใช้ป้อนน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่เครื่องกรองอีกเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องสูบน้ำแบบชนิดรีดสายของบริษัท Watson-Marlow รุ่น 5033 Mannual Drive 50 RPM

สาเหตุที่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ 2 ชนิดต่างกันเนื่องมาจากปัญหาเรื่องเครื่องมือมีไม่เพียงพอจึงไม่อาจใช้เครื่องสูบน้ำชนิดเดียวกันทั้ง 2 ชุดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเครื่องกรองเอดี ขนาดต้นแบบ (Pilot Scale) ที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องกรองเอดี ขนาดต้นแบบ (Pilot Scale) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.4.3 ตัวกลาง (Media)

ตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองเป็นสารซัลเฟอร์ และหินปูนขนาดประมาณ 1.0-1.5 ซม. ผสมให้คละกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำภายในเครื่องกรองทั้ง 2 ชุดมีชุดละ 2 จุดคืออยู่ที่ระดับวัดจากก้นถังกรองขึ้นมา 0.9 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ โดยเริ่มเก็บจากจุดบนสุดก่อนแล้วจึงเก็บจุดที่อยู่ต่ำลงมาตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อกันการรบกวนชั้นของตัวอย่างน้ำ การเก็บแต่ละจุด

จะปล่อยให้น้ำไหลทิ้งไปก่อนประมาณ 50 มล.ทุกครั้ง ส่วนน้ำที่เข้าเครื่องกรองจะเก็บจากถังพักน้ำที่จะป้อนเข้าเครื่องกรองที่มีการผสมของสารประกอบดีแล้ว

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะวิเคราะห์ตัวแปรตามที่กำหนดตามวิธีการใน Standard Method ดังนี้

1.	ไนเตรต-ไนโตรเจน	วิเคราะห์โดยวิธี	Brucine Method
2.	ไนไตรต์-ไนโตรเจน	วิเคราะห์โดยวิธี	Modified Griess-Ilosvay Diazotization
3.	พีเอช	วิเคราะห์โดยวิธี	pH Meter
4.	ความเป็นด่าง	วิเคราะห์โดยวิธี	Titrimetric Method
5.	ซัลเฟต	วิเคราะห์โดยวิธี	Turbidimetric Method
6.	ความขุ่น	วิเคราะห์โดยวิธี	Turbidimeter
7.	ความกระด้าง	วิเคราะห์โดยวิธี	EDTA Titrimetric Method
8.	ออกซิเจนละลายน้ำ	วิเคราะห์โดยวิธี	DO Meter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.	ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส	วิเคราะห์โดยวิธี	Sulfuric Acid-Nitric Acid Digestion/Vanado-molybdophosphoric Acid Colorimetric Method

3.5.3 <u>ตำแหน่งเก็บน้ำตัวอย่างและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง</u>

สำหรับตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนเกิดสภาวะคงตัวของระบบจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ตำแหน่ง ดังนี้ คือ ที่ตำแหน่งถังน้ำสังเคราะห์และที่ตำแหน่งน้ำออก โดยมีการวิเคราะห์ตัวแปรตามและความถี่ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.5 ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเกิดสภาวะคงตัวของระบบจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ตำแหน่งคือ ที่ตำแหน่งถังน้ำสังเคราะห์, ที่ตำแหน่งกลางถังกรอง และที่ตำแหน่งน้ำออก โดยนอกจากจะเพิ่มตำแหน่งเก็บน้ำขึ้นอีก 1 ตำแหน่งแล้วยังเพิ่มตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์อีก 1 ตัวแปร คือ ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ซึ่งในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในช่วงเกิดสภาวะคงตัวนี้จะทำการวิเคราะห์ทุกตัวแปร ทุกวันติดกันประมาณ 5 วัน

สำหรับสภาวะคงตัว (Steady state) นั้นจะสังเกตุได้จากผลการทดลอง ในการกำจัดปริมาณสารไนเตรตในน้ำได้สูงสุด และมีอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวแปรตามต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ในตำแหน่งต่างๆที่ทำการเก็บตัวอย่างตามแผนการวิจัยค่อนข้างคงที่ในทุกๆตำแหน่งและทุกๆตัวแปรตามที่วิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i17200003

ตารางที่ 3.5 แสดงตัวแปรเปลี่ยนตามที่วิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	
	น้ำสังเคราะห์	น้ำออก
ไนเตรต	ข	ข
ไนไตรต์	ค	ค
พีเอช	ก	ก
ความเป็นด่าง	ข	ข
ซัลเฟต	ข	ข
ความขุ่น	ข	ข
ความกระด้าง	ข	ข
DO	ก	ก

หมายเหตุ ก. ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์ทุกวัน

ข. ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน

ค. ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย