

การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรอง



นาย นันทชัย ศรีนภาวงศ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

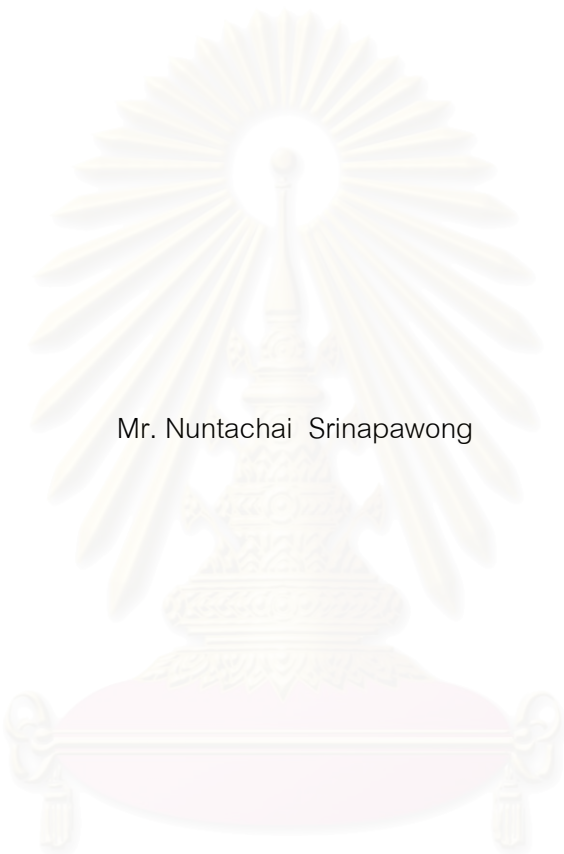
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-130-857-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER WITH  
COMBINED MEMBRANE-TRICKLING SYSTEM



Mr. Nuntachai Srinapawong

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-130-857-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง  
โดย                              นาย นันทชัย ศรีนภาวงศ์  
สาขาวิชา                      เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชันทอง สุนทรภา

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตรสานต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชันทอง สุนทรภา)

.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช)

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นันทชัย ศรีนภางค์ : การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง (TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER WITH COMBINED MEMBRANE-TRICKLING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ชันทอง สุทราภา, อ. ที่ปรึกษาร่วม : - , 91 หน้า. ISBN 974-130-857-4.

น้ำเสียจากชุมชน เป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ งานวิจัยนี้มีแนวความคิดของการจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบติดกับที่ ระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองเป็นการดัดแปลงระบบถังโปรยกรองปกติด้วยการเพิ่มชั้นตัวกลางที่ได้เคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพทางด้านล่างของถังโปรยกรอง และมีชั้นตัวกลางที่ไม่ได้เคลือบผิวตามแบบถังโปรยกรองปกติอยู่ถัดขึ้นไป งานวิจัยนี้ได้ออกแบบตามแบบถังโปรยกรองอัตราต่ำและสร้างถังโปรยกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 1.15 เมตร เลือใช้ตัวกลางเป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ยาวท่อนละ 1 นิ้ว เจาะรูจำนวน 35 รูต่อท่อน (5 รู × 7 แถว) ตัวกลางเคลือบเยื่อแผ่นได้จากการเคลือบสารละลายพอลิเมอร์ไคโตแซนซึ่งสังเคราะห์จากเปลือกกุ้งบนตัวกลาง โดยสารละลายพอลิเมอร์ไคโตแซนมีลักษณะสมบัติคือ ความหนืดประมาณ 4200-4500 เซนติพอยส์ การกำจัดหมู่อะเซทิลร้อยละ 84.4 มวลโมเลกุลประมาณ  $1.8 \times 10^6$  ดัลตัน น้ำเสียนำมาจากบ่อปรับสภาพน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำสีพระยา ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนเครื่องดักกากของแข็งขนาดหยาบและละเอียดมาแล้ว โดยมีค่า BOD-loading, COD-loading, N-loading และ P-loading อยู่ในช่วง 0.03-0.124, 0.119-0.269, 0.01-0.025 และ 0.019-0.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองที่ใช้ชั้นความสูงของตัวกลางที่เคลือบผิวด้วยเยื่อแผ่นไคโตแซน 10 และ 20 เซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอมของบีโอดีและซีโอดีเพิ่มขึ้น จากประมาณร้อยละ 50 และ 55 เมื่อเป็นระบบโปรยกรองตามแบบปกติ เป็นประมาณร้อยละ 60 และ 65 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากประมาณร้อยละ 8 เป็นประมาณร้อยละ 15-20 และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียดีขึ้นเล็กน้อย จากประมาณร้อยละ 31-35 เป็น ประมาณร้อยละ 36-50 ได้เสนอกฎการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารที่เพิ่มขึ้นในระบบร่วมว่าเกิดจากเมือกจุลินทรีย์ในชั้นตัวกลางที่เคลือบด้วยเยื่อแผ่นมีความเหมาะสมกับคุณลักษณะน้ำหลังผ่านชั้นตัวกลางปกติมากยิ่งขึ้น จึงทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอาหารในน้ำเสียเพิ่มเติม ได้ทำการศึกษาอายุการใช้งานของเยื่อแผ่นไคโตแซนที่เคลือบบนผิวของตัวกลางพบว่ามีการใช้งาน 12 วัน

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2543.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4172324423 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CHITOSAN MEMBRANE/ TRICKLING FILTER/ MUNICIPAL WASTEWATER / ONSITE SYSTEM

NUNTACHAI SRINAPAWONG: TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER WITH COMBINED MEMBRANE-TRICKLING SYSTEM. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. Dr. KHANTONG SOONTARAPA, 91 pp. ISBN 974-130-857-4

Municipal wastewater is a main cause of water pollution. This research was aimed to manage wastewater with an onsite treatment system. The combined membrane-trickling system is a modified trickling filter by an additional coated media bed with biodegradable polymer at the bottom part of the unit and followed up by the conventional uncoated media bed. Low rate trickling filter was designed. A diameter of 50 cm and 1.15 m height unit was fabricated as the studied unit. The media materials were rigid PVC elements of 0.5 inch diameter and 1 inch length making into a perforated wall of 35 opening (5 opening/row×7 rows) each. The membrane-coated media was prepared by casting chitosan dope solution synthesized from shrimp shell on each piece of media as a thin membrane layer. The characteristics of the synthesized chitosan dope solution were as follows: viscosity 4200-4500 cP, degree of deacetylation 84.4% and molecular weight 1.8 MDalton. Raw municipal wastewater was taken from the equalization tank from Sipraya Water Quality Improvement Factory. It was after bar screen and rotating fine screen by which large and fine objects were removed. The BOD loading, COD loading, N-loading and P-loading were 0.03-0.124, 0.119-0.269, 0.01-0.025 and 0.019-0.03 kg/m<sup>3</sup>.d, respectively. For the combined membrane-trickling system with coated media bed of 10 and 20 cm, it was found that the organic and nutrient removal efficiency in terms of BOD, COD and T-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> increased from ~50%, ~55% and ~8% in the conventional trickling filter system to ~60%, ~65% and 15-20%, respectively. Little improvement on total Kjeldahl nitrogen removal was also obtained from 31-35% to 36-50%. The removal mechanism at the viscosity of coated media bed was due to the appearance of more appropriate biofilm to the wastewater characteristic. The chitosan membrane coated on the media lasted for 12 days operation.

Department.....Chemical..Technology..... Student's signature.....  
 Field of study.....Chemical..Technology... Advisor's signature.....  
 Academic year.....2000..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ชั้นทอง สุนทรภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมที่เอื้อเพื่อข้อมูลและวิธีการทำการทดลอง ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำสี่พระยาทุกคนที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 น้ำทิ้งชุมชน.....	4
2.2 แหล่งที่มาและผลกระทบของสารอินทรีย์และสารอาหาร ในแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	7
2.3 การกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหาร.....	9
2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	11
2.5 ถังโปรยกรอง.....	21
2.6 ไคโตแซน.....	28
2.7 มาตรฐานน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว.....	35
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
3. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	
3.1 การเตรียมไคโตแซน.....	39
3.2 การเตรียมสารละลายไคโตแซน.....	41
3.3 ลักษณะของถังโปรยกรองและตัวกลาง.....	42
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล	
4.1 คุณสมบัติของไคโตแซน.....	48
4.2 น้ำหนักของไคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลาง.....	49



4.3 ผลการศึกษาการทำงานของระบบไปรษณีย์ธรรมดา	
เปรียบเทียบกับระบบร่วมเหื่อแผ่น-ถึงไปรษณีย์.....	50
4.4 การศึกษาการทำงานในช่วงระยะยาว.....	56
5. สรุปผลการวิจัย.....	59
6. ข้อเสนอแนะ.....	60
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	70
ภาคผนวก ง.....	75
ภาคผนวก จ.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	91



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย.....	6
2.2 อัตราน้ำเสียและปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย.....	7
2.3 การแบ่งประเภทของถังโปรยกรองตามการใช้งาน.....	25
2.4 การแบ่งประเภทของถังโปรยกรองตาม Loading.....	25
2.5 ลักษณะของตัวกลางที่ใช้ในถังโปรยกรอง.....	27
2.6 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตแซน.....	30
2.7 ความสามารถในการละลายของไคโตแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆกัน.....	32
2.8 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและจากอาคารสูง.....	35
2.9 การแบ่งประเภทและขนาดของสิ่งก่อสร้างที่อ้างอิงในตารางที่ 2.8.....	36
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของไคโตแซน.....	41
3.2 โครงสร้างของตัวกลางและถังโปรยกรอง.....	43
4.1 คุณสมบัติของไคโตแซน.....	48
4.2 น้ำหนักของไคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางแต่ละชั้น .....	49
4.3 น้ำหนักของไคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางเฉลี่ยต่อชั้น.....	50
4.4 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบโปรยกรองธรรมดา กับ ระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง.....	51
4.5 เปรียบเทียบการออกแบบระบบทดลองกับข้อกำหนดการออกแบบ.....	52
4.6 สรุปค่าประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยของระบบโปรยกรองธรรมดาเปรียบเทียบกับ กับระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองที่ระดับความสูงต่างๆ .....	55
4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดของพารามิเตอร์ต่างๆกับระยะเวลาในการบำบัด.....	57
ง.1 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ.....	78
ง.2 สัดส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในตัวอย่างกับปริมาณตัวอย่างที่ใช้.....	79
จ.1 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 0.8 เมตร ครั้งที่ 1 .....	83
จ.2 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 0.8 เมตร ครั้งที่ 2 .....	83
จ.3 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1.....	84
จ.4 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2 .....	84

๑.5 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร ครั้งที่ 1 .....	85
๑.6 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร ครั้งที่ 2 .....	85
๑.7 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร ครั้งที่ 3 .....	86
๑.8 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร ครั้งที่ 1 .....	86
๑.9 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร ครั้งที่ 2 .....	87
๑.10 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร ครั้งที่ 3 .....	87
๑.11 ข้อมูลของระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองในช่วงวันเริ่มต้น-วันที่ 4.....	88
๑.12 ข้อมูลของระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองในช่วงวันที่ 5-วันที่ 8.....	88
๑.13 ข้อมูลของระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองในช่วงวันที่ 9-วันที่ 12.....	89
๑.14 ข้อมูลของระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองในช่วงวันที่ 13-วันที่ 16.....	89
๑.15 ข้อมูลของระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงโปรยกรองในช่วงวันที่ 17-วันที่ 20.....	90

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 วัฏจักรของไนโตรเจน.....	19
2.2 ไดอะแกรมการทำงานของถังโปรยกรอง.....	22
2.3 การทำงานของแบคทีเรียที่ความลึกต่างๆของถังโปรยกรอง.....	24
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของโคตินและโคโตแซน เปรียบเทียบกับ เซลลูโลส.....	28
2.5 IR spectra ของโคตินและโคโตแซน.....	31
2.6 <sup>13</sup> C NMR spectra ของโคตินและโคโตแซน.....	31
3.1 การเตรียมโคตินและโคโตแซน.....	40
3.2 ตัวกลาง.....	42
3.3 ระบบโปรยกรองศึกษา.....	44
4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ภาวะคงตัว.....	53
4.2 กลไกการทำงานของระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง.....	56
4.3 BOD และ COD ขาเข้าและขาออกที่ระยะเวลาต่างๆของการบำบัด.....	57
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับระยะเวลา ที่ทำการบำบัด.....	58
ก.1 ผลการวิเคราะห์ค่า Degree of deacetylation โดยเครื่อง NMR.....	67
ก.2 ผลการวิเคราะห์ค่ามวลโมเลกุลของโคโตแซนโดยเครื่อง GPC.....	68
ค.1 แผนภาพกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา.....	74

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำทิ้งจากชุมชน ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัย อาคาร ร้านค้า ตลาด โรงแรม เป็นต้น ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่นับวันจะเพิ่มขึ้นมาตามการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและกลายเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียสำคัญอันก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ ซึ่งสารอินทรีย์และสารอาหารเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติและการเพิ่มขึ้นของกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในปัจจุบันนี้ระบบกำจัดน้ำทิ้งที่ใช้กันอยู่มักมีอุปสรรคในการทำงานและการควบคุมระบบอยู่มาก เช่น ระบบตะกอนเร่งซึ่งเป็นระบบที่ซับซ้อนต้องการการควบคุมอย่างใกล้ชิด มักเกิดปัญหาเกี่ยวกับการลอยตัวของตะกอนมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำทิ้งต่ำลง ดังนั้นจะมีปัญหาการเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยในแหล่งน้ำอันเป็นสาเหตุให้ค่าบีโอดีและค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้สารอาหารคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดยังคงกลายเป็นปัญหาที่สำคัญต่อคุณภาพน้ำในปัจจุบันที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารดังกล่าวนี้เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชน้ำต่างๆ ถ้ามีปริมาณมากจะกระตุ้นให้พืชน้ำมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมแก่แหล่งน้ำนั้น [1]

เนื่องจากน้ำทิ้งชุมชนมาจากอาคารบ้านเรือนระบายลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำสาธารณะแล้วจึงไปบำบัดที่โรงบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง จึงเกิดแนวความคิดที่จะให้มีการบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ โดยที่ระบบบำบัดที่จะนำมาใช้เป็นแบบติดกับที่และต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เนื่องจากเป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพอาศัยการดูดซึมสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพบนผิวของตัวกลาง (Media) ระบบโปรยกรองนี้มักใช้เป็นกระบวนการแรกในการบำบัดน้ำเสียหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแบบเบื้องต้น เช่น ตะแกรงดักของแข็งแบบหยาบและละเอียดมาแล้ว [2] ที่ผิวของตัวกลางขณะที่ระบบกำลังทำงานอยู่จะมีจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ในน้ำเสียเกาะที่ผิวของตัวกลางในรูปของเมือกจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลลงผ่านเมือกจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยเมือกจุลินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง เมื่อเมือกจุลินทรีย์โตและมีจำนวนเพิ่มขึ้นจนหลุดจากผิวของตัวกลางจะหลุดปนออกมากับน้ำเสียออกจากระบบ

ในน้ำทิ้งชุมชนมีปริมาณสารประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ประกอบอยู่สูงซึ่งส่วนใหญ่มาจากสารซักฟอก สิ่งขับถ่ายจากคนและสัตว์ องค์ประกอบทั้งสองนี้ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการบำบัดทางชีวภาพได้น้อยมาก จึงต้องการปรับปรุงระบบบำบัดทางชีวภาพ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบไปรยกรอง จึงเกิดแนวความคิดที่จะใช้เยื่อแผ่นมาประยุกต์ใช้ในส่วนของตัวกลาง เป็นระบบบำบัดร่วมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรอง

ไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ [3] เตรียมจากเปลือกกุ้งซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล จึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้ประโยชน์จากไคโตแซน เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่มีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ว่างที่มีจำกัดและน้อยลงเรื่อยๆ ความไม่คล่องตัวและความยากลำบากในการดูแลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียรวม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการนำไคโตแซนมาประยุกต์ใช้เป็นเยื่อแผ่นเคลือบผิวตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังไปรยกรอง
2. เพื่อนำระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรองเป็นทางเลือกใหม่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ของอาคารบ้านเรือน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สังเคราะห์ไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง ตามวิธีการของสุทธวัฒน์และคณะ [4] และหาคุณสมบัติของไคโตแซนที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ความหนืด, มวลโมเลกุล และค่าร้อยละการกำจัดหมู่ อะซีติล
2. ออกแบบระบบบำบัดทดลองตามเกณฑ์ออกแบบ (Design criteria) แบบถังไปรยกรองอัตราต่ำ (Low rate trickling filter) เพื่อกำหนดขนาดของถังและอัตราการไหล โดยเลือกใช้ตัวกลางที่ทำจากพลาสติกพีวีซี
3. การทดลองดำเนินการกับน้ำเสียชุมชนจริงที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจากถังปรับ สมดุลหลังหน่วยตะแกรงดักของแข็งทั้งหยาบและละเอียด วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบใน terms ของ BOD (Biochemical oxygen demand), COD (Chemical oxygen demand), TKN (Total Kjeldahl nitrogen) และ  $T-PO_4^{3-}$  (Total phosphate-phosphorus)



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. การใช้ประโยชน์จากโคโคแทนในการบำบัดน้ำเสีย
2. ทางเลือกใหม่ของระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนทางชีวภาพแบบติดกับที่ โดยการประยุกต์กับเทคโนโลยีเยื่อแผ่นเพื่อลดทั้งปริมาณสารอินทรีย์และสารประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำทิ้งชุมชน

#### 2.1.1 องค์ประกอบน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน [1]

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7 ส่วนประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชน คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน นอกจากนี้ยังมี ผงซักฟอก สาร Phenolic และพวก Pesticides เป็นต้น สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียทั่วไป ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ซัลเฟอร์และกำมะถัน เป็นต้น

#### 1. สารอินทรีย์

หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และรวมกับธาตุอื่นตั้งแต่หนึ่งธาตุขึ้นไป ได้มาจากธรรมชาติ และสิ่งที่มีชีวิต เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เป็นต้น แต่ในปัจจุบันสารอินทรีย์หลายชนิดอาจเกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เช่น ยูเรีย (สารอินทรีย์) เกิดจากการนำแอมโมเนียไซยาเนตมาให้ความร้อน เป็นต้น

อย่างไรก็ตามยังมีสารประกอบบางชนิดแม้จะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแต่ไม่ถูกจัดว่าเป็นสารอินทรีย์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกลือคาร์บอเนต และเกลือโบคาร์บอเนต เป็นต้น

สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลชีพ เช่น แบคทีเรีย น้ำตาล เป็นต้น เมื่อถูกระบายลงแหล่งน้ำจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำของแหล่งน้ำลดลงจนอาจทำให้เกิดการเน่าเหม็น การกำจัดสารเหล่านี้อกจากน้ำสามารถกระทำได้นิยามใช้กระบวนการทางชีวภาพเป็นหลัก

ส่วนสารอินทรีย์ชนิดถูกย่อยสลายได้ยากโดยจุลชีพ เช่น สารปราบศัตรูพืช การกำจัดสารเหล่านี้อกจากน้ำมีความยุ่งยากมากกว่าการกำจัดสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลชีพ

#### 2. สารอนินทรีย์

หมายถึง สารที่มีใช้สารอินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น เกลือซัลเฟต เกลือคาร์บอเนต และเกลือโบคาร์บอเนต คลอไรด์ แคลเซียม โซเดียม เป็นต้น ถ้าสารเหล่านี้มีมากเกินไปทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะแก่การใช้สอย เช่น มีรสกร่อย ไม่เหมาะแก่การอุปโภค บริโภค เป็นต้น



### 3. เชื้อโรค

เชื้อโรคคือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคอาจเป็น แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และอื่นๆซึ่งอาจมาจาก สิ่งที่ขับถ่ายจากมนุษย์ และสัตว์ที่ป่วย เชื้อโรคเหล่านี้อาจนำโรคมารสู่มนุษย์

### 4. ไขมัน และไขมัน

ส่วนใหญ่มาจากพืช และสัตว์ที่ใช้ในการประกอบอาหาร สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ลอยน้ำได้ ทำให้แหล่งรับน้ำเสียเกิดสภาพไม่น่าดู ชัดขวางการแพร่ของออกซิเจนลงสู่ น้ำ ทำให้น้ำเน่าเสียง่ายขึ้น

### 5. สารอาหารของพืช

ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำแต่ถ้าแหล่งน้ำมีสารเหล่านี้มากเกินไป อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่มีชื่อว่า ยูโทรฟิเคชัน โดยมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมากมายของพืชน้ำ เช่น สาหร่าย เป็นต้น ปรากฏการณ์นี้จะทำให้ แหล่งน้ำมีสีเขียวจัด ออกซิเจนละลายน้ำจะสูงมากในเวลากลางวัน แต่จะลดต่ำลงในเวลากลางคืน จนอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

### 6. ของแข็งแขวนลอย

หมายถึงของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ อาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ อยู่ใน ลักษณะแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำทำให้น้ำขุ่น และเมื่อความเร็วของน้ำลดลงของ แข็งดังกล่าวนี้จะตกตะกอนทำให้เกิดการตั้งขึ้นตลอดจนอาจเกิดการย่อยสลาย (ของแข็งที่เป็นสาร อินทรีย์) แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่บริเวณส่วนล่างของแหล่งน้ำ ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตตลอดจน การขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำบางชนิด

#### 2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งชุมชน [1]

สิ่งเจือปนหลักในน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารอินทรีย์มีทั้งที่อยู่ในรูปสารละลาย และไม่ละลาย ลักษณะน้ำทิ้งแปรเปลี่ยนไปตามชนิดอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย [5]

ประเภทอาคาร	pH	TS ( mg/l )	SS ( mg/l )	BOD ( mg/l )	TKN ( mg/l )
สถานที่ราชการ	7.1 - 7.3	312 - 718	25 - 28	8 - 27	13.9 - 17.08
อาคารชุด	7.1 - 7.6	596 - 712	44 - 194	34 - 163	24
โรงแรม	7.0 - 7.8	494 - 534	16 - 84	14 - 190	15.4 - 55
โรงพยาบาล	7.4 - 8.0	740 - 1020	25 - 69	21 - 170	8.40 - 23.0
อาบอบนวด	6.62	-	11.7	44.6	14.2 - 27.6
ตลาด	6.5 - 6.7	1878 - 1973	242 - 551	487 - 112	14
บ้านจัดสรร	7.4	1925	34	38	53.9 - 71.3
ร้านอาหาร	5.2 - 6.5	-	324 - 416	919 - 2350	654
ศูนย์การค้า	7.51	2814 - 3670	61	1503	18.1
โรงเรียน	6.8 - 7.2	3242	58	81	55.1 - 84.5
หอพัก	7.78	732	29	94 - 106	66.8
สะพานปลา	6.1	588	2260	75	24 - 34.3

### 2.1.3 ปริมาณน้ำทิ้งชุมชน [1]

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำทิ้งชุมชน ได้แก่

- มาตรฐานการครองชีพ กล่าวคือ ประชาชนที่มีรายได้สูงมักใช้ และผลิตน้ำทิ้งมากกว่าผู้มีรายได้น้อย เนื่องจากมักมีกิจกรรม อุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ รถยนต์ เป็นต้น
- ระบบน้ำประปา กล่าวคือ ในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีการบริการน้ำประปาอย่างสมบูรณ์จะทำให้การใช้น้ำ และการเกิดน้ำเสียมีอัตราสูงกว่าพื้นที่ซึ่งมีการบริการประปาไม่สมบูรณ์ เช่น น้ำประปาไหลบางชั่วโมงในหนึ่งวัน เป็นต้น
- การรณรงค์ให้มีการประหยัดการใช้น้ำ จะส่งผลให้อัตราการเกิดน้ำทิ้งมีค่าลดลง

ตามปกติ จากการสำรวจ [6] พบว่าอัตราการเกิดน้ำทิ้งจะมีค่าประมาณร้อยละ 70 - 80 ของปริมาณน้ำใช้ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียที่ระบายเข้าสู่ท่อระบายน้ำมีอัตราแตกต่างกันไปทั้งนี้

ขึ้นกับพฤติกรรมของชุมชนนั้นๆ เช่น ในกรุงเทพมหานคร ประชาชนส่วนใหญ่ใช้บ่อเกรอะ – บ่อซึมในการรองรับน้ำเสียจากส้วม ทำให้น้ำเสียที่ไหลลงท่อระบายน้ำมีอัตราต่ำกว่าในบางประเทศที่ระบายน้ำเสียจากส้วมเข้าสู่ท่อระบายโดยตรง เป็นต้น ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราน้ำเสียที่ได้มีการรวบรวมไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราน้ำเสีย และปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย [6]

แหล่งที่มา	หน่วย	อัตราน้ำเสีย (ลิตร/วัน – หน่วย)	ปริมาณบีโอดี (กรัม/วัน – หน่วย)
ภัตตาคาร	ตร.ม.	25	53
โรงแรม	เตียง	1061	123
หมู่บ้านจัดสรร	คน	179	12.6
สำนักงาน	ตร.ม.	2.54	0.09
ห้างสรรพสินค้า	ตร.ม.	4.6	0.27
โรงพยาบาล	เตียง	800	94
ตลาด	ตร.ม.	69	21
หอพัก	ห้อง	78	76

## 2.2 แหล่งที่มาและผลกระทบของสารอินทรีย์และสารอาหารในแหล่งน้ำธรรมชาติ

### 2.2.1 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์และสารอาหาร [1]

แหล่งที่มาของสารอินทรีย์และสารอาหารอาจกล่าวโดยสรุปว่า มาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่งด้วยกันคือ

1. แหล่งที่มาจากธรรมชาติ เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ในฝน และฝุ่นที่มีฟอสฟอรัสในอากาศให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มีสารทั้ง 2 ชนิดนี้ลงในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลนก บางชนิด เศษซากพืชและสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำ ฯลฯ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแหล่งดังกล่าวนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมได้และอาจก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำบางแห่งได้

2. แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน จากโรงงานอุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม แม้ว่าจะมีการกำจัดน้ำทิ้งดังกล่าวนี้ แต่ยังคงเหลือสารอยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามแหล่งนี้สามารถที่จะควบคุมให้มีปริมาณน้อยลงได้ง่ายกว่าแหล่งแรก

### 2.2.2 ผลกระทบของสารอินทรีย์และสารอาหารที่มีต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ [1]

การปล่อยน้ำเสียหรือของเสียลงไปในแหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งรับน้ำอย่างไร ขึ้นกับชนิด และปริมาณของน้ำเสียนั้นๆดังนี้

#### 1. ผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อความต้องการออกซิเจน

สารที่มีความต้องการออกซิเจนอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่เมื่อถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำแล้วทำให้ค่าดีไอ (ออกซิเจนละลายน้ำ) ของแม่น้ำลดลงหากลดลงจนถึงจุดวิกฤต จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อยู่ในน้ำ เช่น กุ้ง ปลา เป็นต้น การลดลงของดีไอสามารถประมาณการณได้หากมีข้อมูลเพียงพอ แม้ปริมาณออกซิเจนจะถูกใช้ไปในการย่อยสลายของเสีย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มเติมออกซิเจนจากบรรยากาศก็เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างตลอดเวลาเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงดีไอจึงขึ้นกับการแข่งขันกันของกระบวนการดังกล่าว

#### 2. ผลกระทบของสารอาหารต่อแหล่งน้ำ

สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ในกรณีที่แหล่งน้ำมีสารทั้ง 2 ชนิดนี้ มากจนเกินไปจะมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำ ซึ่งปัญหาที่พบเห็นโดยทั่วไปคือ การที่แหล่งน้ำนั้นมีการระบาดของพืชน้ำหลายชนิด เช่น สาหร่าย ผักตบชวา กก ฯลฯ ทำให้แหล่งน้ำนั้นเสื่อมโทรมลงในด้านคุณภาพ เช่น มีสีที่เปลี่ยนไป เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากขาดออกซิเจน และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า “ยูโทรฟิเคชัน”

นอกจากสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นปัจจัยในการเกิดยูโทรฟิเคชันแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆรวมอีกด้วย อาทิเช่น อุณหภูมิของน้ำ การเจริญ การหายใจ และการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ตลอดจนการละลายของออกซิเจนในน้ำ ฯลฯ ปัญหาที่ตามมาของปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันนี้ นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดมากขึ้นแล้ว ยังอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคสารพิษที่อยู่ในสาหร่ายบางชนิด เช่น *Microcystis* และ *Anabaena* เป็นต้น

สำหรับแหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียอยู่ในปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดพิษกับปลาและสัตว์น้ำโดยตรงอีกด้วย และส่งผลให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำดังกล่าว เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรเจนและไนเตรต โดยแบคทีเรียไนตริไฟอิง (Nitrifying bacteria) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีการใช้ออกซิเจนด้วย

## 2.3 การกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหาร [7]

ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารจากน้ำเสียชุมชน ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่

### 2.3.1 กระบวนการบำบัดเบื้องต้น (Preliminary treatment)

ประกอบด้วย ตะแกรงดักขยะ ถังดักทราย และ ถังปรับสมดุล (Equalizing tank) ซึ่งไม่ได้ช่วยลดความสกปรกในน้ำเสียโดยตรงแต่ช่วยลดความแปรปรวนของน้ำเสียที่ไหลเข้ามาซึ่งจะช่วยให้หน่วยบำบัดที่อยู่ถัดไปทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในกรณีที่น้ำเสียไม่มีอัตราไหลที่แปรปรวนมากนักก็อาจไม่จำเป็นต้องมีถังปรับสมดุล

### 2.3.2 กระบวนการบำบัดขั้นแรก (Primary Treatment)

เพื่อทำให้น้ำเสียมีความเหมาะสมที่จะบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพต่อไปโดยการแยกสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็งออกจากน้ำ หน่วยบำบัดที่ใช้ได้แก่ ถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary clarifier) หรือตะแกรงชนิดละเอียดซึ่งสามารถดักเศษวัสดุขนาด 1-2 มิลลิเมตรได้

กระบวนการบำบัดขั้นแรกสามารถลดสารแขวนลอยและบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 50 และ 30 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวิศวกรหลายท่านได้จัดให้กระบวนการบำบัดเบื้องต้นเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการบำบัดขั้นแรกด้วย

### 2.3.3 กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment)

เพื่อกำจัดค่าบีโอดีอาศัยกระบวนการแบบชีวภาพแบบใช้อากาศเป็นหลักซึ่งสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 90 ขึ้นไป ชนิดของระบบที่มีการนำไปใช้งาน เช่น

- ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond)
- ระบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon)
- ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated sludge)

- ระบบโปรยกรอง (Trickling filter)

- ระบบอาร์บีซี (Rotating biological contactor; RBC)

กระบวนการบำบัดขั้นที่สองถือว่ามีความสามารถลดบีโอดีให้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร และสามารถลดความสกปรกอื่นๆให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดได้แล้ว

#### 2.3.4 กระบวนการบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment)

กรณีที่ต้องการลดความสกปรกให้มากกว่านี้อาจทำได้โดยเพิ่มต่อด้วยกระบวนการขั้นที่สาม (Tertiary treatment) เช่น

##### 1. การกำจัดฟอสฟอรัส (Phosphorus removal)

ได้แก่ การเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำอยู่ให้เป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ และตกตะกอนแยกจากน้ำได้ สารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส ได้แก่ สารอะลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม (Aluminum sulfate หรือ Alum) และเฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride)

##### 2. การกำจัดไนโตรเจน (Nitrogen removal)

ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในน้ำทิ้ง จากแอมโมเนีย ให้เป็นไนเตรทในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนโตรเจนก๊าซในกระบวนการ denitrification เป็นกรรมวิธีที่ใช้จุลินทรีย์จำเพาะชนิดเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการ

##### 3. การดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon adsorption)

ได้แก่ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และไม่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพ เช่น สารที่ทำให้เกิดสี โดยการให้ถูกดูดไว้บนผิวของถ่านไวงาน (Activated carbon) ซึ่งสามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ได้ด้วยการเผาให้สารอินทรีย์ระเหยไป

##### 4. การกรอง (Filtration)

ได้แก่ การกำจัดปริมาณของแข็งจากน้ำทิ้งเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพสูงนิยมใช้ชั้นของคาร์บอนและทรายขนาดเล็ก ในถังลึกประมาณ 1 เมตร นิยมใช้สารสร้างตะกอน (Coagulant) ช่วยให้ของแข็งรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ก่อนผ่านชั้นกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ



5. การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนพร้อมกัน (Combined removal of phosphorus and nitrogen)

ได้แก่ การใช้ถังหรือ zone แบบไร้อากาศ กึ่งไร้อากาศ และให้อากาศ สลับกัน เพื่อกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน มักจะเป็นกรรมวิธีสังวนลิขสิทธิ์ เช่น Berdenpho system, UCT process เป็นต้น

### 2.3.5 การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) [8]

การฆ่าหรือทำลายเชื้อโรค (Disinfection) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการผลิตน้ำประปา และนำมาใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ การทำลายเชื้อโรคในน้ำเสีย โดยทั่วไปมักพบเห็นเป็นขั้นตอนสุดท้ายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ในส่วนของการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมไม่มีความจำเป็น ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีการควบคุมน้ำใช้ให้ปราศจากเชื้อ และกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆมักทำลายจุลินทรีย์ เช่น การกลั่นที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง การเติมสารเคมี กรด ต่าง เป็นต้น น้ำเสียอุตสาหกรรมอาจมีจุลินทรีย์ที่อาจก่ออันตรายได้ เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตยาปฏิชีวนะ น้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์เพื่อผลิตเนื้อสัตว์ เป็นต้น ระบบบำบัดน้ำเสียชีววิทยาจะทำลายเชื้อโรค (Pathogens) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากพวกจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคมักชอบอาศัยในร่างกายมนุษย์และสัตว์ เมื่อมาอยู่ภายนอกมักจะตายไม่สามารถต่อสู้แข่งขันกับจุลินทรีย์อื่นๆได้

## 2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์น้ำเสีย [9]

### 2.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องเป็นตัวแทนของน้ำทั้งหมดที่ต้องการจะศึกษา หรือวิเคราะห์เพื่อทราบถึงคุณภาพของน้ำนั้น ในการนี้ต้องคำนึงถึงทั้งปริมาณของน้ำที่จะเก็บ และเวลา นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงชนิดและแหล่งของน้ำที่จะเก็บ ว่าเป็นน้ำดีหรือน้ำเสีย เก็บจากแม่น้ำลำธาร อ่างเก็บน้ำ หรือจากบ่อน้ำ เป็นต้น

**ปริมาณ** ในการตรวจหาคุณสมบัติของน้ำทางกายภาพและเคมี ควรใช้ปริมาตรอย่างน้อย 1-2 ลิตร ข้อควรจำคือ จะต้องไม่ใช้ตัวอย่างน้ำนี้มาทำการตรวจทางแบคทีเรีย เพราะวิธีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำแตกต่างกัน ชนิดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำควรจะเป็นชนิดที่ทำด้วยสารเฉื่อย คือไม่เกิด



ปฏิบัติกับสารอื่นๆในน้ำ เช่น ขวดพลาสติก ข้อสำคัญจะต้องล้างให้สะอาดก่อนนำไปใช้ เมื่อจะเก็บตัวอย่างน้ำจะต้องล้างขวดที่จะเก็บด้วยน้ำตัวอย่างสัก 2-3 ครั้ง ทุกคราวไป

เวลา เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำมาแล้วควรจะทำการวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด เพราะส่วนประกอบของตัวอย่างน้ำอาจจะเปลี่ยนไป เนื่องจากการเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Organism) ซึ่งความผิดพลาดข้อนี้อาจลดให้น้อยลงได้โดยเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในที่มืด และอุณหภูมิต่ำ (4<sup>o</sup>C) จนถึงเวลาที่วิเคราะห์สำหรับกรณีที่ยังทำการวิเคราะห์ไม่ได้ ได้กำหนดเวลาที่จะเก็บตัวอย่างน้ำที่จะมาวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพว่าจะเก็บไว้ได้นานที่สุดเท่าใด (Maximum limit) ไว้ดังนี้

น้ำสะอาด (Unpolluted water)	72 ชั่วโมง
น้ำค่อนข้างสกปรก (Slightly polluted water)	48 ชั่วโมง
น้ำสกปรก (Polluted water)	24 ชั่วโมง

เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วข้อบกพร่องของผลวิเคราะห์ต่างๆ ไม่ได้เกิดจากความผิดพลาดของเทคนิคที่ใช้ แต่เกิดจากการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไม่ดีพอ เพื่อที่จะให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บเป็นตัวแทนของน้ำหรือน้ำโสโครกทั้งหมดที่จะศึกษาจริงๆ ตัวอย่างน้ำที่จะเก็บมาจึงอาจจะเก็บแบบที่เรียกว่า ตัวอย่างแยก (Grab sample) หรือ แบบตัวอย่างรวม (Composite samples) ก็ได้แล้วแต่ชนิดของน้ำและดุลยพินิจของผู้เก็บ ข้อสำคัญขอให้ได้ตัวอย่างน้ำที่เป็นตัวแทนของน้ำนั้นจริงๆ

ตัวอย่างแยก คือ ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาและแยกวิเคราะห์เป็นตัวอย่างๆไป อาจจะเก็บบ่อยๆ หรือนานๆเก็บครั้งก็ได้ ตัวอย่างแยกมักใช้กับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพช้ามาก หรือไม่ก็คุณภาพคงที่ เช่น น้ำในแม่น้ำใหญ่ๆ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงช้ามาก การเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียวในวันหนึ่งก็เป็นการพอเพียง หรือน้ำในบ่อลึกซึ่งมักจะมีคุณภาพคงที่ การเก็บเพียงตัวอย่างเดียวจะบอกสถานะของน้ำในบ่อนั้นได้ น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงของสารในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องใช้ตัวอย่างแยกในช่วงเวลาต่างๆ ตามแต่จะกำหนด

สำหรับน้ำเสียจากโรงงาน (Industrial wastewater) คุณภาพของน้ำแปรผันไปตลอดเวลา จึงต้องเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 หรือ 15 นาที เป็นตัวอย่างแยก แต่ละตัวอย่างก็จะถูกนำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนด จากนั้นก็จะเอามารวมกันเป็น 2, 4, 8, 12 หรือ 24 ชั่วโมง เป็นตัวอย่างรวม เพื่อการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนใหญ่ตัวอย่างรวมมักใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสียทั้งจากโรงงานและจากอาคารบ้านเรือน ซึ่งต้องการจะทราบผลเฉลี่ย โดยวิธีนี้ตัวอย่าง

น้ำจะถูกเก็บทุกๆช่วงเวลา อาจเป็นทุกๆ ชั่วโมงหรือทุกสองชั่วโมง แล้วเอามารวมกันเป็นตัวอย่างรวมในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ตัวอย่างรวมที่ได้ถือ เป็นตัวอย่างเฉลี่ย ภายใต้สภาวะเหล่านี้จะตัดปัญหาเกี่ยวกับ Detention time ไปได้ โดยที่แต่ละตัวอย่างน้ำที่เก็บขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์เดียวคือ อัตราการไหล ณ เวลานั้น (คือผสมกันตามอัตราส่วนปริมาตรไหล)

#### 2.4.2 พารามิเตอร์สำคัญในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียคือการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆดังนี้คือ

##### 1. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนนับว่าเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช เพราะต้องถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน กระบวนการต่างๆที่ต้องการออกซิเจนเรียก Aerobic process ก๊าซต่างๆในบรรยากาศละลายน้ำได้มากน้อยต่างกันแล้วแต่ชนิดของก๊าซ สำหรับไนโตรเจนและออกซิเจนจัดว่าเป็นก๊าซที่ละลายได้น้อยมาก และเนื่องจากมันไม่ได้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ดังนั้นการละลายจึงขึ้นอยู่กับ Partial pressure ของมันและอุณหภูมิ

ค่า Solubility ของออกซิเจนในน้ำจะอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตรที่  $0^{\circ}\text{C}$  และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตรที่  $35^{\circ}\text{C}$  ภายใต้ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ซึ่งจะเห็นว่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความจริงข้อนี้สำคัญมากเพราะอัตราของการออกซิเดชันทางชีวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะน้อยลง ความจริงข้อนี้จะเห็นได้ชัดในต่างประเทศ หรือแม้แต่ในประเทศไทยเองก็ตาม คือในฤดูร้อน ปริมาณ DO ในน้ำน้อยลงเพราะว่าอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเน่าเหม็นของน้ำในสระ บ่อ เนื่องจากออกซิเจนไม่พอสำหรับทำให้เกิด Aerobic condition

Low solubility ของออกซิเจนเป็นแฟคเตอร์สำคัญที่จำกัดความสามารถในการที่จะฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ของน้ำธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดสารสกปรกในน้ำเสียก่อนที่ปล่อยลงแม่น้ำลำธาร ปริมาณของออกซิเจนในน้ำจะมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่อิ่มตัวขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำนั้น เช่นถ้ามีการสังเคราะห์แสงมากจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง มีการละลายดีขึ้น แต่ถ้ามีการสลายตัวของสารอินทรีย์ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไป ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น การออกซิไดส์ของ  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$  ในน้ำก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณของออกซิเจนในน้ำลดลง

การละลายของออกซิเจนในน้ำที่มีเกลือแร่จะน้อยกว่าในน้ำสะอาด ดังนั้น คุณหมูนึงการละลายของออกซิเจนในน้ำจืดจะค่อยๆ ลดลงเมื่อน้ำนั้นเข้าใกล้ทะเลทุกๆที นั่นคือการละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและปริมาณคลอไรด์ในน้ำ (คลอไรด์ในน้ำทะเลมีประมาณ 19000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และในทำนองเดียวกันในน้ำโสโครกค่าอิ่มตัวของออกซิเจนที่ละลายจะน้อยกว่าในน้ำสะอาด

#### ความสำคัญของ DO

- DO ในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่จะเกิดขึ้น จะเกิดโดย Aerobic หรือ Anaerobic organism พวก Aerobic organism ใช้ ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่ Anaerobic organism ทำให้เกิดออกซิเดชันโดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัวเช่น  $\text{SO}_4^{2-}$  เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น Organisms ทั้งสองชนิดพบทั่วไปในธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะที่พวก Aerobic organism ชอบไว้ (คือมีออกซิเจน) มิฉะนั้น Anaerobic organism จะเข้ามาแทนที่ การหาค่า DO จึงเป็นความจำเป็นเพื่อที่จะรักษา Aerobic condition ในน้ำธรรมชาติซึ่งจะรับเอาสิ่งสกปรกจากที่ต่างๆนอกจากนี้ยังใช้ในการรักษาสภาวะที่เหมาะสมใน Aerobic treatment process ด้วย

- ค่า DO มีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น คือให้มี DO ในปริมาณที่พอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นต้น

- ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical oxygen demand) เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราการออกซิเดชันทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ

- ค่า DO เป็นแฟคเตอร์สำคัญในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และในหม้อต้มน้ำ โดยเฉพาะในหม้อน้ำไม่ควรมี DO เลย แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มี DO ได้ 0.015 ppm

- ค่า DO ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาใน Aerobic treatment process เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะ Aerobic ไว้ได้ อีกทั้งป้องกันการใช้อากาศมากเกินไป

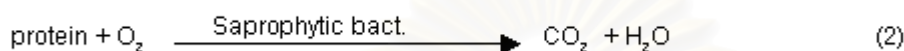
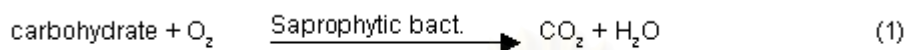
## 2. BOD (Biochemical oxygen demand)

BOD คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากกระบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการ

เจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอาหารเหล่านี้อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร

การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการที่ (1) และ (2)



ค่าออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปคือค่า BOD ที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของ  $\text{NH}_3$  ไปเป็น  $\text{NO}_2^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  ตามลำดับ โดยพวก Autotrophic bacteria ซึ่งมีชื่อว่า Nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำเสีย การแบ่งตัวของแบคทีเรียที่  $20^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า BOD น้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในชั้ระยะ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่า BOD จึงน้อยมาก หลังจาก 10 วันแบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สาร  $\text{NH}_3$  ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรทในตัวอย่างซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

ค่า BOD จะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ ในเทอมของออกซิเจนซึ่งต้องการใช้เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แม่น้ำลำคลอง ซึ่งมีสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่า BOD ยังมีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำต่างๆ เพราะค่า BOD จะบอกถึงองศาของความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบในการกำจัดน้ำเสียด้วย

การหา BOD เป็น Bioassay procedure ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์ จึงต้องทำให้แพคเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือ ค่า BOD มาตรฐานจะทำการเก็บไว้ (Incubate) ที่อุณหภูมิ  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวก็เพราะว่าที่  $20^\circ\text{C}$  เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับของน้ำทั่วไป และ Nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกใช้เวลา 5 วัน ก็เพราะว่าถ้าเวลาน้อยกว่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมากและเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้  $\text{O}_2$  ในระยะที่ 2 ดัง

กล่าวข้างต้น ประการสุดท้าย ถ้าเวลานานเกินไปอาจไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่างๆ ลงแม่น้ำ ลำคลอง มักเขียนสัญลักษณ์ของค่า BOD ที่ใช้เวลา 5 วัน ว่า BOD<sub>5</sub>

ในการหาค่า BOD ของน้ำควรคำนึงถึงแฟคเตอร์ต่างๆที่จะทำให้ค่า BOD ที่ได้มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ โดยยึดหลักทั่วไปดังนี้

- ใช้อุณหภูมิ  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ในการ Incubate เป็นเวลา 5 วัน
- ไม่ควรให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศและแสงสว่างเพื่อป้องกันการเติมออกซิเจนและการสังเคราะห์แสง (โดยเก็บไว้ในตู้มืด ปิดจุกขวดให้แน่นและใช้น้ำกลั่นหล่อบนจุกขวดเสมอ)
- น้ำบางชนิดมีความสกปรกมากจะต้องทำให้เจือจางก่อน มิฉะนั้นออกซิเจนในน้ำอาจไม่พอตลอดช่วงของการทดลอง (ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยคือประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตรที่  $20^{\circ}\text{C}$ ) นอกจากนี้จะต้องให้ปริมาณของออกซิเจนลดน้อยลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหลือออกซิเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแต่ละตัวอย่าง
- น้ำสำหรับใช้เจือจางควรปราศจากสารซึ่งไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ทองแดง คลอรีน นอกจากนี้ควรมี pH ที่เหมาะสมคือ 7 และประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นตลอดจนสารอื่นๆ ที่แบคทีเรียต้องการ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ข้อสำคัญจะต้องอิมิตัวด้วยออกซิเจน
- การเติมเชื้อ (Seeding) เนื่องจากในน้ำตัวอย่างบางชนิดมีแบคทีเรียที่จะย่อยสลายอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้น จึงต้องเติมแบคทีเรียชนิดต่างๆ ซึ่งพบมากในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนลงไปด้วย เรียกแบคทีเรียที่เติมลงไปว่าน้ำเชื้อ (Seed)
- เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับใช้เจือจางไม่มีสารหรือสิ่งที่จะไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทุกครั้งที่ทำจึงควรมีตัวอย่างมาตรฐาน เช่น ใช้กลูโคสหรือกรดกลูตามิกทำควบคู่ไปกับตัวอย่างน้ำด้วย

### 3. COD (Chemical oxygen demand)

กำลังความสกปรกของน้ำที่มาจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอาจบอกได้จากค่า COD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (มียกเว้นบางตัวเป็นส่วนน้อย) สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด พวกอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และพวกสารอินทรีย์ไนโตรเจนก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท หลักการของการหา COD คล้ายกับ BOD คือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออก



ซีไดรซ์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ต่างกันที่ BOD ต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายส่วน COD ใช้ตัวเติมออกซิเจน และจากปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้

#### ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD

โดยปกติแล้วค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยไม่ต้องอาศัยการดูดซึมทางชีวะ (Biological assimilability) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคสและลิกนินจะถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ ผลก็คือทำให้ค่า COD สูงกว่า BOD และจะสูงกว่ามากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส น้ำเสียจากโรงงานกระดาษมีสารลิกนินอยู่สูงจึงมีค่า COD สูงกว่า BOD แต่ในบางกรณีถ้ามีพวก Aromatic hydrocarbon และ Pyridine ซึ่งไม่ถูกออกซิไดซ์ทางเคมี ค่า COD จะน้อยกว่าค่า BOD

สำหรับงานประจำ จากข้อมูลของ COD อาจจะใช้บอกค่า BOD อย่างคร่าวๆได้ โดยการเขียนกราฟระหว่างค่า COD และ BOD เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองของน้ำเสียแต่ละชนิด ซึ่งจากกราฟนี้สามารถจะห้ประมาณค่า BOD ได้

ค่า COD ใช้มากในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและควบคุมเกี่ยวกับระบบท่อน้ำเสีย เนื่องจากผลที่ได้ใช้เวลาไม่กี่ ชั่วโมงในการหา จึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที นอกจากนี้ ถ้าใช้ร่วมกับ BOD จะบอกถึงสภาวะที่เป็นพิษหรือ การมีสารอินทรีย์ที่ต้านต่อการออกซิไดซ์ทางชีวะได้

#### ข้อดีและข้อเสียของ COD

##### ข้อดี

- รวดเร็ว ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชั่วโมงก็จะทราบผล ในขณะที่การหาค่า BOD ต้องใช้เวลาถึง 5 วัน
- มีตัวแปรผันน้อยเมื่อเทียบกับการหา BOD และค่าที่ได้มีความแน่นอนน่าเชื่อถือกว่า
- สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการหา BOD เหมาะสำหรับงานประจำ
- สารมีพิษไม่ขัดขวางการหา COD ดังนั้น จึงเป็นวิธีเดียวที่ใช้หาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียที่มีสารมีพิษ ค่าที่ได้สามารถห้ประมาณค่า BOD ทั้งหมดของน้ำเสีย

### ข้อเสีย

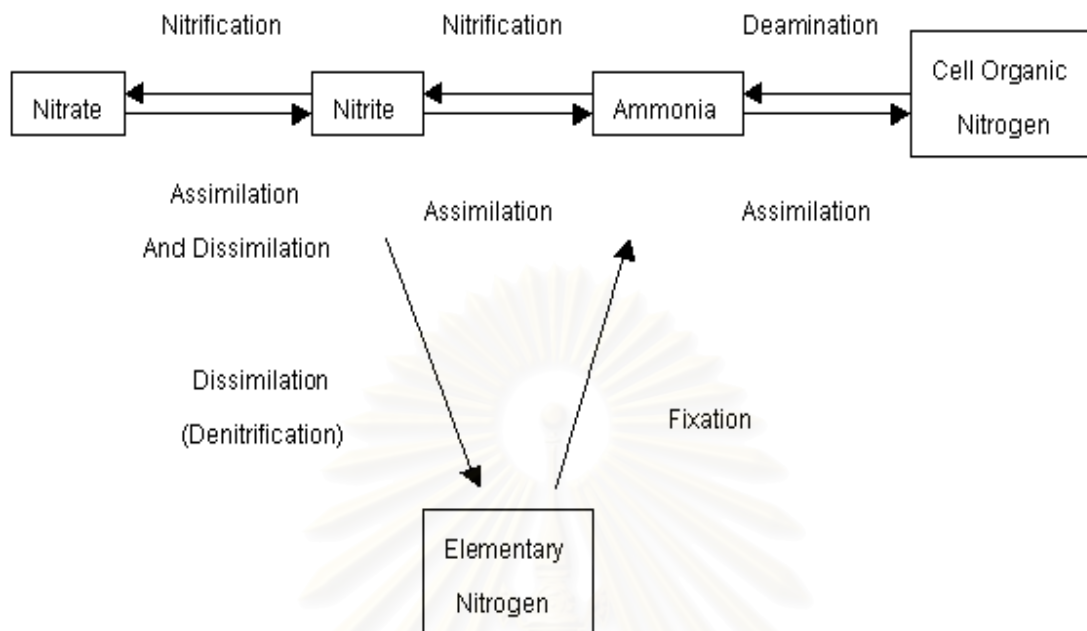
- ไม่สามารถที่จะใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ทางชีวะ หรือไม่ถูกออกซิไดซ์ทางชีวะ ออกจากกันได้
- ไม่สามารถให้ข้อคิดใดๆ เกี่ยวกับอัตราที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายหรือออกซิไดซ์ทางชีวะภายใต้สภาวะธรรมชาติ

#### 4. ไนโตรเจน (Nitrogen)

สารประกอบไนโตรเจนมีได้มากมายหลายรูป ทำให้เคมีของไนโตรเจนยุ่งยากมาก สำหรับสารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องในเรื่องน้ำดื่มและน้ำโสโครก อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  สารพวกนี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ย เกลือในปัสสาวะ ส่วนอีกชนิดคือสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก สารพวกนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย พืช สัตว์ ในอุจจาระ ในปุ๋ยคอก เป็นต้น สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำ (ทั้งน้ำสะอาดและน้ำโสโครก) ก็เพราะการที่มันสามารถเปลี่ยนจากรูปสารอินทรีย์ไปเป็นรูปสารอนินทรีย์ โดยกระบวนการที่เรียกว่า Mineralization ซึ่งแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ นอกจากนี้ สารอนินทรีย์ในรูปต่างๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปมากันได้โดยแบคทีเรียเช่นกัน กระบวนการในการเกิดมีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น Ammonification, Nitrification และ Denitrification ความสำคัญของกระบวนการ Mineralization คือการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปที่ไม่ละลายให้เป็นรูปที่ละลาย และแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการดังกล่าวข้างต้นมีความสำคัญเกี่ยวกับวัฏจักรเคมีในน้ำจืดมาก เพราะทำให้มีสารอาหารซึ่งพวกพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำสามารถนำไปใช้ได้ อาจสรุปกระบวนการทางชีวะซึ่งเกี่ยวข้องกับอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ดังรูปที่ 2.1

เนื่องจากไนเตรทที่เกิดสามารถเป็นปุ๋ยสำหรับพืชและมักจะเกิดขึ้นในปริมาณที่เกินพอ ดังนั้น ดินจะเก็บไว้เป็นเหตุให้น้ำใต้ดินส่วนมากมีปริมาณไนเตรทสูง ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทั้งไนโตรทและไนเตรทสามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย โดยกระบวนการ Denitrification แต่ปฏิกิริยาส่วนมากจะดำเนินต่อไปจนถึงได้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นปัญหาในการกำจัดน้ำโสโครกใน Activated sludge process เพราะทำให้ Sludge ลอยตัวขึ้น เรียกว่าเกิด Rising sludge problem แต่ประโยชน์ของการ Denitrification ก็คือ เป็นการกำจัดไนโตรเจนซึ่งพืชต้องการในการเจริญเติบโตจากน้ำเสียก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ





รูปที่ 2.1 วงจรของไนโตรเจน [9]

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนในน้ำใช้และน้ำโสโครกต่างๆ ในอดีตใช้บอกถึงคุณภาพของน้ำนั้นอย่างคร่าวๆ ว่าน้ำนั้นถูกปะปนด้วยอุจจาระหรือปัสสาวะหรือไม่ เช่น น้ำที่มีอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน แสดงว่าถูกทำให้สกปรกใหม่ๆ แต่ถ้าน้ำนั้นมีไนเตรทไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่แสดงว่าน้ำนั้นถูกทำให้สกปรกเป็นเวลานานแล้ว ปัจจุบันนี้ใช้การตรวจทางแบคทีเรียแทน อาจสรุปปัญหาอันเกิดจากไนโตรเจนในน้ำได้ดังนี้

#### - ปัญหาเกี่ยวกับสารอาหาร

กระบวนการกำจัดน้ำเสียทางชีวะทุกอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้น จึงต้องทราบว่า มีไนโตรเจน ซึ่งเป็นสารอาหารสำหรับแบคทีเรียในน้ำโสโครกพอเพียงหรือไม่ ในการนี้ ต้องหาค่าแอมโมเนียไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งถูกกระตุ้นโดยการทิ้งน้ำโสโครกซึ่งอาจมีไนโตรเจนและสารอาหารอื่นๆ อยู่ลงในแหล่งน้ำ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาไนโตรเจนในน้ำโสโครกก่อนทิ้ง

- ปัญหาเกี่ยวกับการออกซิเดชันในแม่น้ำ

การเปลี่ยนแปลงจากแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ต้องการออกซิเจน ดังนั้น การปล่อยน้ำเสียซึ่งมีแอมโมเนียไนโตรเจนและตัวอื่นๆ ซึ่งเกิดจากการออกซิไดซ์ของมลพิษน้ำเสีย ถ้าธาร จะก่อให้เกิดปัญหาการลดลงของระดับ DO ในแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้แบคทีเรียที่รับผิดชอบเกี่ยวกับกระบวนการ Nitrification จะพบเป็นจำนวนมากในระบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจน การปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วลงแหล่งน้ำ จึงทำให้เกิด Nitrification อย่างรวดเร็วขึ้น ดังนั้น การวิเคราะห์หาไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ จึงจำเป็นมาก

- การควบคุมการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

ข้อมูลเกี่ยวกับไนโตรเจนใช้เพื่อควบคุมองศาของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ จากการศึกษาค่า BOD พบว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้ผลไม่จำเป็นต้องทำให้จนถึงขั้น Nitrification ผลนี้ช่วยประหยัดทั้งเวลาและปริมาณอากาศที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีก็ต้องการให้การออกซิเดชันเกิดขึ้นจนถึงขั้น Nitrification เพื่อป้องกันการออกซิเดชันของไนโตรเจนที่จะเกิดในแหล่งน้ำทิ้ง

#### 5. ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and phosphate)

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียอยู่ในรูปต่างๆกัน ของฟอสเฟต เช่น ออโรฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสเฟต หรือ คอนเดนส์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือในรูปของซากพืช สัตว์ ฟอสเฟตรูปต่างๆ เข้ามาปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียได้หลายทาง เช่น เต็มลงไปใต้น้ำประปาเพื่อป้องกันการตกตะกอนภายหลังของ  $\text{CaCO}_3$  และเพื่อหลีกเลี่ยงการทำ Recarbonation นอกจากนี้ยังมาจากน้ำที่ใช้ในการซักฟอก หรือ ล้างชาม ซึ่งใช้ผงซักฟอก (ในรูปฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟต) จากปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตร (ในรูปของออโรฟอสเฟต) ซึ่งถูกชะล้างมาในน้ำฝน เป็นต้น

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักจะพบว่าเป็น Growth-limiting nutrient ของแหล่งน้ำอยู่เนืองๆ ดังนั้นในการปล่อยน้ำเสียหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดความสะอาดแล้วก็ตามลงในแหล่งน้ำ อาจจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาได้

## 2.5 ถังโปรยกรอง (Trickling filter)

### 2.5.1 หลักการของระบบโปรยกรอง [2,10]

ถังโปรยกรองเป็นระบบที่อาศัยการไหลเป็นหยดของน้ำเสีย น้ำเสียจะมีลักษณะไหลแบบฟิล์มบาง (Thin film) แบนบนผิวของตัวกลาง (Media) ซึ่งบรรจุในถังหรือคอลัมน์ซึ่งมีอากาศไหลผ่านเข้า – ออกได้ ทำให้ถังโปรยกรองเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ และออกซิไดซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเป็น ไนเตรท-ไนโตรเจน กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นในถังโปรยกรองเช่นเดียวกับกระบวนการออกซิไดส์สารอินทรีย์

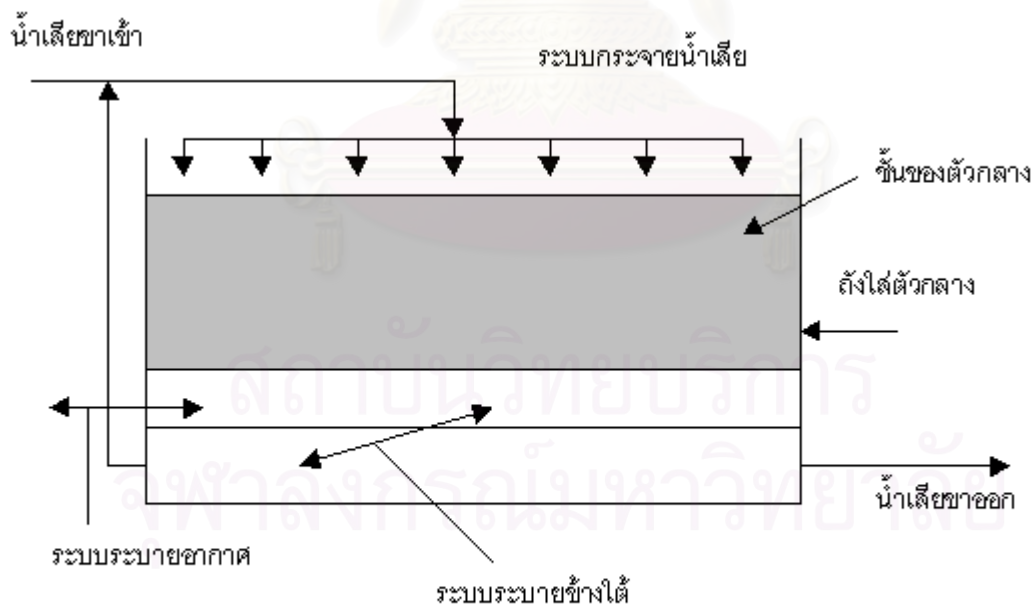
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของถังโปรยกรอง ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือ

1. ถังใส่ตัวกลาง มักเป็นรูปกลม เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆกันตามต้องการความลึก 1.8 ถึง 2.4 เมตร ตัวกลางที่บรรจุอยู่ในถัง (Filter bed) แต่เดิมใช้หินขนาด 2-4 นิ้ว ปัจจุบันมีการใช้ตัวกลางอื่น เช่น พลาสติก ไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น เพื่อให้ใช้งานได้คงทน ทนทานพอสมควร ทำเป็นรูปต่างๆเพื่อให้มีพื้นที่ผิวและมีช่องว่างระหว่างตัวกลางมากเพื่อให้รับน้ำเสียที่มี Organic loading และ Hydraulic loading ได้สูง ช่องว่างระหว่างตัวกลางที่มีมากมายจะถูกใช้เป็นที่สำหรับให้ออกซิเจนผ่านเพื่อให้เกิดสภาพ Aerobic ด้วย
2. ระบบจ่ายน้ำเสีย มักเป็นแบบท่อยาวมีรูข้างใต้เป็นระยะๆ ท่อนี้จะหมุนช้าๆ ไปรอบตามแนวรัศมีของถังทำให้น้ำเสียถูกโปรยลงบนผิวบนสุดของตัวกลางได้เต็มพื้นที่ผิวของถังในการนี้ น้ำเสียจะได้รับออกซิเจนในอากาศไปด้วย และไหลซึมเปียกพื้นผิวของตัวกลางลงไปสู่ชั้นล่างๆ
3. ระบบระบายข้างใต้ (Underdrain system) ทำหน้าที่รับน้ำเสียที่ผ่านผิวของตัวกลางมาแล้ว น้ำนี้จะมียูทริลีสสารน้อยลงมากแล้ว
4. Secondary sedimentation tank ถังตกตะกอนชั้นสองมีความจำเป็นเพราะ Sludge ที่สะสมตัวอยู่ในถังตกตะกอนจะต้องได้รับการกำจัดออกจากถังตกตะกอน ก่อนที่จะลอยตัวไปสู่ผิวน้ำและไหลออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งด้อยคุณภาพ

จากรูป 2.2 น้ำเสียที่ผ่านออกจากถังโปรยกรองสามารถที่จะย้อนกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง โดยรวมกับน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งการที่มีการนำน้ำเสียนกลับไปเข้าสู่ระบบใหม่เป็นการทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นลดลง

โดยทั่วไปน้ำเสียที่เข้าสู่ถังโปรยกรองจะผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้น เพื่อแยกสารที่ย่อยสลายยากและมีขนาดใหญ่มาแล้ว เช่น พลาสติก โลหะ เป็นต้น น้ำเสียที่ผ่านการแยกแบบหยาบแล้วจะยังไม่สามารถบ่อน้ำเข้าสู่ระบบได้จนกว่าจะผ่านการแยกอย่างละเอียด (ประมาณ 1 มิลลิเมตรหรือมากกว่า) หรือการตกตะกอนขั้นแรกแล้ว

สำหรับตัวกลางของถังโปรยกรองจะต้องการพื้นที่ผิวเพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียจะแพร่เข้าสู่ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ซึ่งเกาะอยู่บนผิวหน้าของตัวกลาง จุลินทรีย์นี้จะใช้ธาตุคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียและพลังงานในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน เรียกจุลินทรีย์พวกนี้ว่า Heterotrophic bacteria ส่วนพวกสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ก็จะแพร่เข้าสู่ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์เช่นกันแต่ไม่ได้ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ แต่จะถูกแยกโดยการดูดซึมหรือถูกดักจับติดอยู่กับชั้นฟิล์ม สำหรับสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะถูก Hydrolyzed โดยเอนไซม์ของเซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม แอมโมเนีย-ไนโตรเจนสามารถแพร่เข้าสู่ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ได้เช่นเดียวกันโดยจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรท-ไนโตรเจนโดยแบคทีเรียพวก Nitrifying กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์และกระบวนการไนตริฟิเคชันนี้จะมีผลทำให้จำนวนจุลินทรีย์ในชั้นฟิล์มเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์ม เมื่อฟิล์มมีความหนาขึ้นจนกระทั่งไม่สามารถยึดเกาะบนผิวของตัวกลางได้ก็จะหลุดออกปนกับน้ำเสียออกมา



รูปที่ 2.2 ไตอะนแกรมการทำงานของถังโปรยกรอง [10]

รูปแบบการไหลของน้ำเสียผ่านถังโปรยกรองมีลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบ Plug-flow เนื่องจากการไหลในถังเป็นแบบ Plug-flow และเนื่องจากจุลินทรีย์เกาะติดบนผิวตัวกลาง ทำให้องค์ประกอบของมวลจุลินทรีย์ (Biomass) มีความหนาแน่นแตกต่างกันตามระดับความลึกของถังโปรยกรอง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของระบบ ถังโปรยกรองเป็นระบบที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้พร้อมกัน กล่าวคือ การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นบริเวณส่วนบนของถังโปรยกรอง ส่วนกระบวนการไนตริฟิเคชันจะพบในบริเวณส่วนล่างของถังโปรยกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงการทำงานของแบคทีเรียพวก Heterotrophic ซึ่งเป็นพวกที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ กับแบคทีเรียพวก Nitrifying ซึ่งเป็นพวกที่ย่อยสลายแอมโมเนีย แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาศัยอยู่ในชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ ในส่วนบนของถังโปรยกรองทั้งสารอินทรีย์และแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงเนื่องจากเป็นส่วนที่รับน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ในสภาวะนี้แบคทีเรียพวก Heterotrophic จะสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียพวก Nitrifying ทำให้ส่วนบนมีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากกว่า กระบวนการไนตริฟิเคชันจะยังไม่เกิดที่ส่วนบนของถังโปรยกรอง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านลงสู่ส่วนล่างของถัง สารอินทรีย์ได้ถูกกำจัดออกไปปริมาณหนึ่งแล้ว ทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวก Heterotrophic จึงน้อยลงตามปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดน้อยลง แต่ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนยังคงสูงอยู่ ช่วงนี้แบคทีเรียพวก Nitrifying จะเติบโตได้เร็วกว่าพวก Heterotrophic ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในช่วงล่างของถังโปรยกรอง

รูปแบบการไหลแบบ Plug-flow ของถังโปรยกรองมีผลต่อการลดการเจริญเติบโตและการสะสมของมวลจุลินทรีย์ที่ส่วนล่างของถัง เนื่องจากแบคทีเรียพวก Nitrifying มีเมตาบอลิซึมต่ำ ปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่สะสมจึงค่อนข้างน้อย

แม้ว่าระบบโปรยกรองจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน แต่ส่วนใหญ่เมื่อชั้นฟิล์มจุลินทรีย์มีความหนาแน่นมาก หรือที่ความลึกของถังมากๆ ออกซิเจนจะแพร่เข้าไปไม่ถึง ดังนั้นชั้นของฟิล์มจุลินทรีย์จะประกอบไปด้วยชั้นนอกซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ออกซิเจนและชั้นในซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช้ออกซิเจน ผลจากชั้นของฟิล์มนี้มีผลต่อการทำงานของระบบหลายทาง ยกตัวอย่างเช่น ส่วนที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนในชั้นฟิล์มต่ำจะเกิดกระบวนการ Denitrification เกิดขึ้น หรือก็คือกระบวนการ Denitrification จะเกิดที่ส่วนล่างของถังโปรยกรองนั่นเอง



รูปที่ 2.3 การทำงานของแบคทีเรียที่มีความลึกต่างๆของถังโปรยกรอง [10]

### 2.5.2 ชนิดของถังโปรยกรอง [2,10]

ถังโปรยกรองมีหลายรูปแบบขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียว่าต้องการน้ำเสียน้ำมีคุณภาพหลังการบำบัดอย่างไร นอกจากนี้ยังขึ้นกับตัวกลางและหน่วยบำบัดน้ำเสียอื่นด้วย ตารางที่ 2.3 เป็นการแบ่งประเภทของถังโปรยกรองตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานและลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ และตารางที่ 2.4 เป็นการแบ่งประเภทของถังโปรยกรองโดยแบ่งตามอัตราของ Hydraulic loading และ Organic loading โดย Organic loading คือ อัตราการไหลโดยมวลของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียน้ำที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งคือค่าบีโอดีหรือซีโอดี



ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของถังไปรยกรองตามการใช้งาน [2]

Application/objective	Influent wastewater	Total organic loading [kg BOD <sub>5</sub> /(m <sup>3</sup> .d)]
Roughing	Screened wastewater or primary effluent	1.3 – 3.5
Carbon oxidation	Screened wastewater or primary effluent	0.7 – 1.5
Combined carbon oxidation and nitrification	Screened wastewater or primary effluent	<1.0
Separate stage nitrification	Secondary effluent	NA <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Not applicable

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทของถังไปรยกรองตาม Loading [10]

Item	Low-rate	Intermediate rate	High-rate	Super high-rate	Roughing	Two-stage
Filter medium	Rock, slag	Rock, slag	Rock	Plastic	Plastic, redwood	Rock, Plastic
Hydraulic loading [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d]	1 – 3.7	3.7 – 9.3	9.3-37.4	14-84	46.8-187.1 <sup>a</sup>	9.3-37.4 <sup>a</sup>
BOD <sub>5</sub> loading [kg/m <sup>3</sup> .d]	0.08-0.4	0.24-0.48	0.48-0.96	0.48-1.6	1.6-8	0.96-1.92
Depth [m]	1.8-2.4	1.8-2.4	0.9-1.8	3-12.2	4.6-12.2	1.8-2.4
Recirculation ratio	0	0 – 1	1 - 2	1 - 2	1 - 4	0.5 – 2
Filter flies	Many	Some	Few	Few or none	Few or none	Few or None
Sloughing	Intermittent	Intermittent	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
BOD <sub>5</sub> removal efficiency [%]	80 –90	50 –70	65 - 85	65 - 85	40 - 65	85 – 95
Effluent	Well- nitrified	Partially nitrified	Little nitrification	Little nitrification	No nitrification	Well – Nitrified

<sup>a</sup>ไม่รวม recirculation



ในการออกแบบถังโปรยกรองประเภทต่างๆมักใช้เกณฑ์ออกแบบ (Design criteria) ในตารางที่ 2.4 โดยมีคำอธิบายของแต่ละประเภทดังนี้

ก.) ถังโปรยกรองอัตราต่ำ (Low-rate trickling filters)

ถังโปรยกรองอัตราต่ำมีอัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ถังและค่าภาระบีโอดีเข้าระบบต่ำ ทำให้มีเวลาเก็บกักในถังนาน ดังนั้นประสิทธิภาพของการกำจัดบีโอดีน่าจะสูง แต่ขนาดถังจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง โดยปกติระบบนี้จะไม่มีการสูบน้ำไหลวนกลับ แต่บางเวลาอาจจำเป็นต้องใช้การสูบน้ำไหลวนกลับเพื่อไม่ให้จุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางแห้งตายไป โดยทั่วไปพบว่าพวก จุลินทรีย์บริเวณตั้งแต่ผิวชั้นบนของตัวกลางลึกลงมาประมาณหนึ่งเมตรกว่าๆจะมีจุลินทรีย์ที่มี ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีจำนวนมาก และส่วนลึกลงไปถ้ามีสภาวะแวดล้อมในระบบเหมาะสมจะมี จุลินทรีย์พวก Autotrophic nitrifying bacteria เกิดขึ้น ซึ่งทำการเปลี่ยนสารแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียไปเป็นสารไนเตรท

ข.) ถังโปรยกรองอัตรากลาง (Intermediate-rate trickling filters)

ถังโปรยกรองอัตรากลางมีอัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ถังและค่าภาระบีโอดีเข้าระบบมากกว่าของระบบโปรยกรองอัตราต่ำ ระบบนี้อาจมีการสูบน้ำไหลวนกลับ โดยอาจมีการสูบจากก่อนหรือหลังจากถังตกตะกอนสุดท้าย

ค.) ถังโปรยกรองอัตราสูง (High – rate trickling filters)

ถังโปรยกรองอัตราสูงมีอัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ถังและค่าภาระบีโอดีเข้าระบบมากกว่าของระบบโปรยกรองอัตรากลาง ระบบนี้มีการสูบน้ำไหลวนกลับ โดยอาจมีการสูบจากก่อนหรือหลังจากถังตกตะกอนสุดท้าย

ง.) ถังโปรยกรองอัตราสูงมาก (Super – rate trickling filters)

ถังโปรยกรองอัตราสูงมากมีอัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ถังและค่าภาระบีโอดีเข้าระบบมากกว่าของระบบโปรยกรองอัตราสูง ระบบนี้จำเป็นต้องมีการสูบน้ำไหลวนกลับ ถังโปรยกรองระบบนี้มีความลึกที่ค่อนข้างลึกกว่าของระบบถังโปรยกรองอื่นๆ ดังนั้นระบบนี้จึงนิยมใช้ตัวกลางเป็นพวกพลาสติก เพราะว่ามีน้ำหนักเบา

จ.) ถังโปรยกรองแบบสองถัง (Two – stage trickling filters)

ถังโปรยกรองแบบสองถังเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ความสกปรกค่อนข้างสูง ระบบนี้จะเกิดการกำจัดบีโอดีมากๆ ในถังโปรยกรองที่ 1 และจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในถังโปรยกรองที่ 2

ฉ.) ถังโปรยกรองแบบหยาบ (Roughing trickling filters)

ถังโปรยกรองแบบหยาบเป็นระบบที่มีอัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ถังและค่าภาระบีโอดีเข้าระบบสูงกว่าระบบอื่นๆทุกระบบ ระบบนี้จำเป็นต้องมีการสูบน้ำไหลวนกลับหลายๆครั้ง ถังโปรยกรองระบบระบบนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ และไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น

2.5.3 ตัวกลาง ( Media )

ลักษณะของตัวกลางที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อหน่วยปริมาตรสูง ราคาถูก และดูดตันยาก ลักษณะของตัวกลางชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 2.5

ตาราง 2.5 ลักษณะของตัวกลางที่ใช้ในถังโปรยกรอง [2]

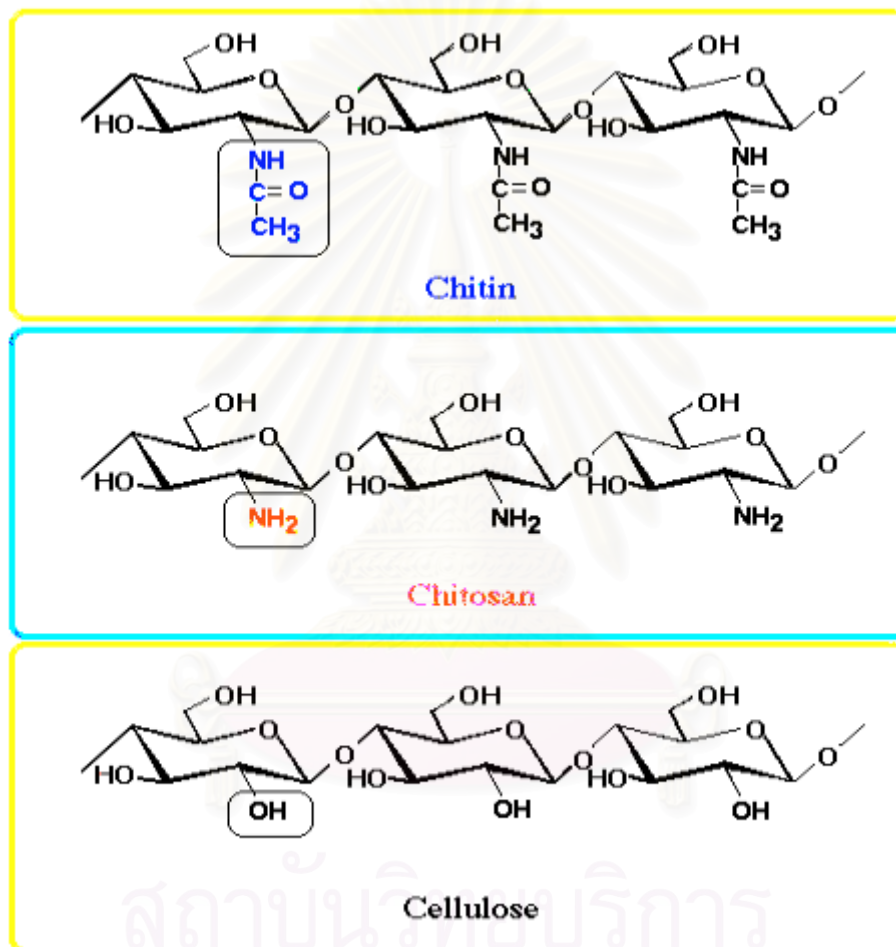
Medium	Nominal size [mm]	Mass/unit volume [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific surface area [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	Void space [%]
River rock				
Small	25.4 – 63.5	1250 – 1440	56 – 69	40 – 50
Large	101.6 – 127	800 – 990	39 – 164	50 – 60
Blast furnace slag				
Small	50.8 – 76.2	900 – 1200	56 – 69	40 – 50
Large	76.2 – 127	800 – 990	46 – 59	50 – 60
Plastic				
Conventional	610×610×1219 <sup>a</sup>	30 – 95	79 – 98	94 – 97
High-specific surface	610×610×1219 <sup>a</sup>	30 – 95	98 – 197	94 – 97
Redwood	1219×1219×508 <sup>a</sup>	145 – 175	39 – 49	70 – 80
Random pack	25.4 – 88.9	50 - 95	125 - 279	90 - 95

<sup>a</sup>Module size

## 2.6 ไคตินและไคโตแซน (Chitosan) [11]

### 2.6.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน [11]

ไคติน เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไปคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน และไคโตแซน เปรียบเทียบกับ เซลลูโลส [11]

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose [12] หรือ Poly N-acetyl-glucosamine และมีสูตรทั่วไปเป็น  $(C_8H_{13}NO_5)_n$  ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และ ออกซิเจนร้อยละ 39.37 และเมื่อพิจารณาจาก สูตรโครงสร้างของไคตินพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่ประจุ (Nonelectrolytic polymer)

ไคติน เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากในธรรมชาติ เป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส พบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ ในสัตว์จะพบไคตินมากตามบริเวณโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton) ของสัตว์ใน Phylum Arthropoda โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Class Crustacean ได้แก่ กุ้ง ปู กุ้ง ซึ่งพบปริมาณไคตินถึงร้อยละ 85 ตลอดจนใน Class Insecta ได้แก่ แมลงสาบ ตัวด้วง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบไคตินได้ตามผนังเซลล์ของ เห็ด รา และยีสต์ อีกด้วย ไคตินเป็นของแข็งไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น อัลคอกซอล และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 78 – 79 กรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ และสารละลายฟลูออโรอัลคอกซอล

ไคโตแซน เป็นอนุพันธ์ของไคติน ได้จากการทำ Deacetylation ไคติน บางครั้งเรียกไคโตแซนว่า “Deacetylated chitin” เนื่องจากหมู่ Acetyl ( $-CO-CH_3$ ) ของไคติน ถูกตัดออกเหลือเป็นหมู่ Amino ( $-NH_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง โดยทั่วไปถ้าหมู่ Acetyl ถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 ไคตินจะถูกเรียกว่าไคโตแซน และถ้าหมู่ Acetyl ถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90 – 100 จะเรียกว่า “Fully deacetylated chitosan” สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตแซน แสดงดัง ตารางที่ 2.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตแซน [13]

Characteristic parameter	Chitin	Chitosan
Molecular weight (Dalton) <sup>a</sup>	>10 <sup>6</sup> (Native chitin) (1-5)×10 <sup>5</sup> (Commercial product)	(1-5)×10 <sup>5</sup> (commercial product)
Degree of polymerization (Average no. of the repeating unit in a molecule )	600 - 1800	600 – 1800
X-ray diffraction (Peaks)	8 <sup>o</sup> 58' – 10 <sup>o</sup> 26' 19 <sup>o</sup> 58' – 20 <sup>o</sup> 00'	8 <sup>o</sup> 58' – 10 <sup>o</sup> 26' 19 <sup>o</sup> 58' – 20 <sup>o</sup> 00'
Idealized composition (Empirical composition)	C <sub>8</sub> H <sub>13</sub> O <sub>5</sub> N	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> N
Nitrogen content (%) (Commercial product)	6 - 7	7 – 9.5
%Moisture (Air dried product)	2 - 10	2 – 10
Extent of deacetylated (%)	10	60 – 80
Viscosity (cP)	Insoluble	250-2500 (1% in Acetic acid) Non-Newtonian and shear thinning
%Ash at 900 <sup>o</sup> C	<1.0	<1.0
Transition metal <sup>b</sup> , µg/g	<0.5	<0.5 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Molecular weight and degree of polymerization (DP) is variable and depend on the source.

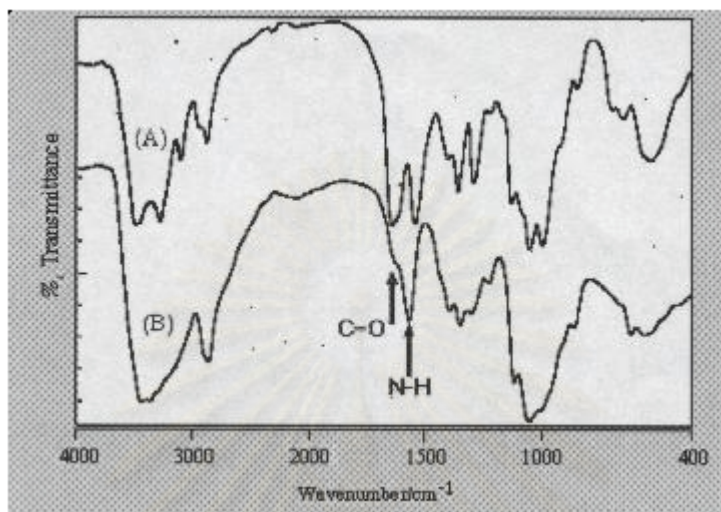
The commercial products have low molecular weight and DP because of degradation during extraction process.

<sup>b</sup> Excluding Fe which is present but not detrimental to application

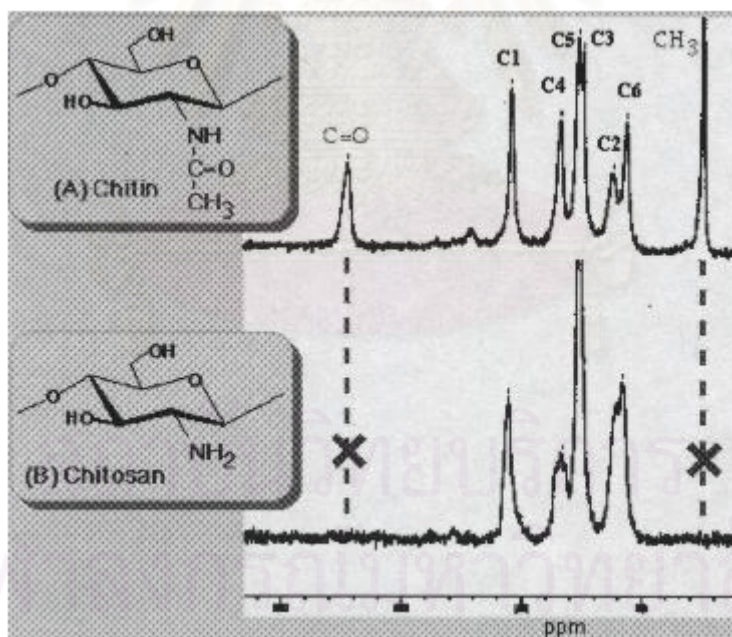
<sup>c</sup> Crab chitosan contain typically (µg / g): V=0.12, Cr=0.04, Mn=0.09, Ni=1.3, Cu=1.03, Ag=0.02, Cd=0.22, Hg=0.025 and Pb=0.15



ไคตินและไคโตแซนแตกต่างกันตรงที่หมู่ Carboxyl (-CO-) และหมู่ Amino (-NH<sub>2</sub>) สามารถตรวจสอบได้โดย IR spectra และ NMR spectra ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 IR spectra ของไคติน (A) และไคโตแซน (B) [11]



รูปที่ 2.6 <sup>13</sup>C NMR spectra ของไคติน (A) และไคโตแซน (B) โดย CP – MAS [11]

ไคโตแซนมีชื่อทางเคมีว่า Poly-β-(1,4)-2-deoxy-D-glucose และมีสมบัติที่แตกต่างจากพอลิแซคคาไรด์ หรือสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอื่นๆคือ ไคโตแซนมีสมบัติเป็น Cationic polyelectrolyte เนื่องจากไคโตแซนมีหมู่ Amino อิสระ (-NH<sub>2</sub>) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่



สองดังกล่าว ทำให้โคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายกรด ได้แก่ สารละลายอินทรีย์ต่างๆ ตัวทำละลายที่ดีของโคโตแซน คือ สารละลายกรดฟอร์มิก ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2 – 100 โดยปริมาตร นอกจากนี้โคโตแซนยังสามารถละลายได้ใน สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง สารละลายกรด ไนตริกเจือจาง และละลายได้เล็กน้อยใน สารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งสารละลายกรดซัลฟูริก ไม่ว่าที่ความเข้มข้นใด ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้โคโตแซนไม่สามารถละลายได้ในน้ำที่มี ค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า 6.5 ได้ ความสามารถในการละลายของโคโตแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความสามารถในการละลายของโคโตแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆกัน [13]

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด ( v/v )				
	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tatic	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> *	-	-	-		
Sulfuric	-	-	-		

+ แสดงว่าโคโตแซนสามารถละลายได้ - แสดงว่าโคโตแซนไม่สามารถละลายได้

\* แสดงว่าโคโตแซนไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกและฟอสฟอริก แต่สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นกรดน้อยกว่า 0.5%

## 2.6.2 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน [13]

การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซนนั้นอาจกล่าวได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งอาศัยสมบัติจำเพาะของพอลิเมอร์ชีวภาพนี้ แนวทางการประยุกต์ใช้สามารถแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ได้ดังนี้

### 1. อุตสาหกรรมกระดาษ

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ มีการใช้ไคตินและไคโตแซน เป็นสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษทั้งในขณะเปียกและแห้ง (Wet and dry strength) ไคโตแซนสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียว และ Fixing agent เพื่อใช้ในงานพิมพ์กระดาษและยังพบว่าไคโตแซนจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบดีขึ้นและมีความทนต่อการขูดขีด (Wear resistance) ดีขึ้น ไคตินและไคโตแซนยังมีการนำไปใช้ในการผลิตกระดาษที่ใช้ในงานซึ่งต้องการความสะอาด เช่น กระดาษชำระ กระดาษเช็ดปาก ผ้าอนามัย และผ้าอ้อมเด็ก เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตกระดาษที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle paper) และกระดาษเพื่อการบรรจุ ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมนี้ยังสามารถบำบัดได้ด้วยการใช้ไคตินและไคโตแซนเป็นสารช่วยในการตกตะกอน

### 2. อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้ไคตินและไคโตแซนในเส้นใยสิ่งทอที่มีการย้อมติดสีได้ยาก เช่น เส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยแก้ว และเส้นใยโพลีฟิน โดยการนำเส้นใยนั้นมาผสมหรือเคลือบผิวด้วยไคตินและไคโตแซน จะทำให้เส้นใยสามารถที่จะรับสีย้อมได้ง่ายขึ้น และช่วยเพิ่มความคงทนของสี (Dry fastness) นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของเส้นใยและช่วยลดการเกิดไฟฟ้าสถิตในเส้นใยสังเคราะห์ ในการทำ Sizing ผืนผ้าด้วยเกลือของไคโตแซนจะทำให้ได้ผืนผ้าที่มีความเหนียวและปรับปรุงลักษณะปรากฏของผืนผ้าโดยทำให้เกิดความสว่าง (Brightening) และเงามัน (Luster) ของสี ไคตินและไคโตแซนยังใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในงานพิมพ์ผ้าที่ใช้สีย้อมประเภทแอซิดและเบสิก และใช้แทนซีผึ้งในงานพิมพ์ผ้าบาติก

### 3. งานด้านเภสัชกรรมและการแพทย์

#### - ผิวหนังเทียม (Synthetic skin)

การรักษาบาดแผลที่เกิดจากการติดเชื้อที่ผิวหนัง แผลไฟไหม้และแผลพุพองเป็นหนองสามารถใช้ผิวหนังเทียมในการรักษาได้ ไคโตแซนอะซิเตต (Chitosan acetate) สามารถนำมาทำผิวหนังเทียมได้โดยการผสมกับพอลิเมอร์ที่ละลายตัวได้อีก 2 ชนิด คือเกลือแอมโมเนียมของ

เคราติน (Ammonium salt of keratin) ที่ได้จากขนแกะและคอลลาเจนอะซิเตต (Collagen acetate) ที่ได้จากหนังสัตว์ ผิวหนังเทียมที่ได้นี้จะสามารถป้องกันบาดแผลจากเชื้อแบคทีเรีย ให้อากาศและความชื้นซึมผ่านได้ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาบาดแผล ผิวหนังเทียมนี้สามารถเข้าได้ดีกับเนื้อเยื่อร่างกาย และสลายตัวไปได้หลังจากที่บาดแผลได้รับการรักษาจนสร้างผิวหนังใหม่ขึ้นทดแทนแล้ว

- ไหมเย็บแผล (Surgical sutures)

ไคตินและไคโตแซนสามารถนำมา Extrude ให้อยู่ในรูปของเส้นใยที่บางแต่มีความแข็งแรง ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นไหมเย็บแผลผ่าตัดได้ และเมื่อแผลหายดีก็ไม่จำเป็นต้องตัดทิ้งเนื่องจากไหมสามารถสลายได้เอง ไหมเย็บแผลที่ได้จากไคตินและไคโตแซนจะเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกายซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ขึ้น

- งานด้านดวงตา (Optical application)

ไคตินและไคโตแซนสามารถนำมาผลิตคอนแทคเลนส์ (Contact lenses) ซึ่งเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อร่างกายมากกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ นอกจากนี้ยังให้ความรู้สึกสบายในการสวมใส่ เนื่องจากเลนส์มีความสามารถในการดูดน้ำและให้อากาศซึมผ่านได้

- Artificial biomembrane for encapsulation of enzyme and cell

ไคโตแซนเมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับแอลจิน (Algin) จะได้แผ่นฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็น Encapsulation โดยแผ่นฟิล์มจะทำหน้าที่ห่อหุ้มสารไวซ์ข้างในและสารสามารถจะซึมผ่านเข้าออกได้ แผ่นฟิล์มที่ได้จะเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกาย

4. งานด้านโครมาโตกราฟี

ไคตินและไคโตแซนสามารถเป็นตัวกลางในการแยกสารและทำให้ไลโซโซม (Lysozomes) มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้เอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น Glucose isomerase ที่ใช้ในการผลิตฟรุคโตไซรัป (Fructose syrup) สามารถนำไปตรึงบนไคตินที่เกิดโครงร่างตาข่ายกับกลูตาไรลดีไฮด์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

## 5. งานด้านบำบัดน้ำ

สิ่งเจือปนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำส่วนมากเป็นประจุลบ ส่วนโคโตะแซนมีประจุบวก เนื่องจากมีหมู่อะมิโนอยู่ จึงสามารถใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน โดยโคโตะแซนจะไปจับกับสิ่งเจือปน ทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงมา นอกจากนี้โคโตะแซนยังสามารถใช้จับกับไอออนของโลหะที่มีพิษได้ ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้โคโตะแซน 5 ppm จะสามารถลดค่า BOD ได้ถึงร้อยละ 80-85 ลดปริมาณฟอสเฟตให้เหลือน้อยกว่า 0.5 ppm และกำจัดสิ่งสกปรกที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ดี

## 6. อุตสาหกรรมอาหาร

ไคตินและโคโตะแซนเป็นสารที่ไม่พิษจึงมีความปลอดภัยที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไคตินและโคโตะแซนสามารถนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานออกไปและป้องกันเชื้อรา นอกจากนี้ไคตินยังสามารถใช้เป็นสาร Stabilizer และสารเพิ่มความหนืดให้อาหาร ซึ่งพบว่า Micro crystalline chitin จะมีสมบัติดีกว่า Micro crystalline cellulose คือมีความหนืดมากกว่า 10 –20 เท่า ทนต่ออุณหภูมิสำหรับการฆ่าเชื้อและการแช่แข็ง และได้มีการนำไปใช้ใส่ขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาตรให้กับขนมปัง เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี ส่วนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารนั้นสามารถใช้โคโตะแซนในการแยกเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้

## 2.7 มาตรฐานน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ค่าของมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและจากอาคารสูงแสดงดังตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.8 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและจากอาคารสูง [14]

Parameter	Unit	Industrial effluent standards	Building effluent standards				
			A	B	C	D	E
COD	mg O <sub>2</sub> / L	-	-	-	-	-	-
BOD <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> / L	20 – 60	20	30	40	50	200
Nkjeldahl	mg N / L	-	35	35	40	40	-
Ptotal	mg P / L	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2.9 การแบ่งประเภทและขนาดของสิ่งก่อสร้างที่อ้างอิงในตารางที่ 2.8 [14]

Building type	Size	Level of standard	Remarks
1. Condominium	Less than 100 units	C	
	100 but not more than 500	B	
	500 units or more	A	
2. Hotels	Less than 60 rooms	C	
	60 but not more than 200	B	
	200 units or more	A	
3. Dormitories	From 10 to not greater than 50 rooms	D	
	From 50 to 250 rooms	C	
	250 rooms or more	B	
4. Massage parlors (or equivalent)	From 1000 m <sup>2</sup> to not greater than 5000 m <sup>2</sup>	C	
	5000 m <sup>2</sup> or more	B	
5. Hospitals	From 10 to not greater than 30 beds	B	
	30 beds or more	A	
6. Schools, colleges, universities or institutes	From 5000 m <sup>2</sup> to not greater than 25,000 m <sup>2</sup>	B	
	25,000 m <sup>2</sup> or more	A	
7. Government offices, state enterprises, international agencies, banks, and office buildings	From 5000 m <sup>2</sup> to not greater than 10,000 m <sup>2</sup>	C	Working area only(excluding central service)
	10,000 m <sup>2</sup> to not greater than 55,000 m <sup>2</sup>	B	
	55,000 m <sup>2</sup> or more	A	
8. Department stores	From 5000 m <sup>2</sup> to not greater than 25,000 m <sup>2</sup>	B	
	25,000 m <sup>2</sup> or more	A	
9. Fresh food markets	From 500 m <sup>2</sup> to not greater than 1,000 m <sup>2</sup>	D	Dining area
	From 1000 m <sup>2</sup> to not greater than 1,500 m <sup>2</sup>	C	
	From 1,500 m <sup>2</sup> to not greater than 2,500 m <sup>2</sup>	B	
	2,500 m <sup>2</sup> or more	A	
10. Restaurants and food shops centers	Less than 100 m <sup>2</sup>	E	
	From 100 m <sup>2</sup> to not greater than 250 m <sup>2</sup>	D	
	From 250 m <sup>2</sup> to not greater than 500 m <sup>2</sup>	C	
	From 500 m <sup>2</sup> to not greater than 2,500 m <sup>2</sup>	B	
	2500 m <sup>2</sup> or more	A	

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**พูนศิริ สินธุรัตน์ (2543) [1]** ได้ทำการศึกษาศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหาร โดยใช้กระบวนการกรองที่ใช้เศษคอนกรีตเป็นสารกรองขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญคือ ขนาดสารกรอง, อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ และระดับความลึกของชั้นสารกรอง เศษคอนกรีตที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าเศษคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารจึงสูงกว่า และอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบช้าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบเร็วซึ่งจะให้อายุในการกรองที่สั้น และที่แต่ละระดับความลึกของชั้นสารกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกรองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

**Parker, D. S. และคณะ (1998) [15]** ได้ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการ 4 แบบ คือ Trickling filter/solids contact (TF/SC), Rotating biological contactor (RBC), Biological aerated filter (BAF) และ Activated-sludge process (ASP) เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนให้ได้คุณภาพน้ำหลังการบำบัดดังนี้ ของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 15 มก/ล ค่า BOD<sub>5</sub> ไม่เกิน 15 มก/ล ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่เกิน 0.5 มก/ล และค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไม่เกิน 3 มก/ล พบว่าระบบ TF/SC มีสมรรถนะในการกำจัดทั้งสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัส และเกิดไนตริฟิเคชันสูงเทียบเท่ากับระบบ BAF ซึ่งถูกจัดว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดใน 4 ระบบที่ศึกษา แต่ใช้เงินลงทุนต่ำกว่าของระบบ ASP และ BAF นอกจากนี้พบว่าระบบ TF/SC ยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส และเกิดไนตริฟิเคชันสูง แม้เมื่ออุณหภูมิน้ำเสียต่ำถึง 9-10 องศาเซลเซียส

**Miller, G. E. และคณะ (1984) [16]** ได้ทำการศึกษาศึกษาการใช้ถังโปรยกรองทำการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการศึกษาระบบการเลี้ยงที่มีการนำกลับสู่ระบบใหม่ 6 แบบ แต่ละแบบจะต่างกันที่จำนวนตัวกลางและอัตราการไหลย้อนกลับเท่านั้น ซึ่งทั้ง 6 แบบ ได้แก่ Full tower (FT), Half tower (HT) และ Empty tower (ET) แต่และแบบใช้อัตราการไหล 2 ค่าคือที่ 22.7 และ 45.4 ลิตร/นาที่ จากการศึกษาพบว่า Filter volume มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ โดยเมื่อเพิ่มจำนวนของตัวกลางจาก ET ไปเป็น HT และจาก HT ไปเป็น FT พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ Ammonia-N และ NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N มีเปอร์เซ็นต์ลดลง ส่วน NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ที่ทั้ง 2 อัตราการไหล นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราการไหลสูงมีผลต่อคุณภาพน้ำดีกว่าที่อัตราการ



ไหลต่ำ โดยที่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลจาก 22.7 ลิตร/นาที่ ไปเป็น 45.4 ลิตร/นาที่ พบว่า Ammonia-N,  $\text{NO}_2^-$ -N และ  $\text{NO}_3^-$ -N มีเปอร์เซ็นต์ลดลง ในทุกความสูงของตัวกลาง

Ponte, M. และคณะ (1996) [17] ได้จัดลัทธิบำบัดระบบถังโปรยกรองซึ่งออกแบบให้มีการหมุนเวียนของอากาศผ่านชั้นตัวกลางอย่างเพียงพอเพื่อการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ส่วนประกอบหลักๆของระบบได้แก่ ชั้นตัวกลางเพื่อให้จุลินทรีย์เกาะเติบโตเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบกระจายน้ำเสียป้อนแบบหมุนรอบในแนวรัศมีเหนือชั้นตัวกลาง ระบบระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดและระบบนำอากาศที่ผ่านชั้นตัวกลางแล้วออกทางด้านใต้ชั้นตัวกลาง เพื่อนำไปบำบัดในหน่วยบำบัดอากาศเสียคือสครับเบอร์

Randall, A.A. และคณะ (1997) [18] ได้ทำการทดลองโดยสร้างถังโปรยกรองเพื่อทำการศึกษาถึงขั้นตอนการ Pretreatment ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และการเพิ่มประสิทธิภาพ รวมถึงสร้างสมการสำหรับการออกแบบระบบถังโปรยกรอง ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้ การลดปริมาณ COD จะเป็นฟังก์ชันขึ้นกับปริมาณของ Organic loading แต่เป็นอิสระจากค่า Hydraulic loading, การ Recycle และ ค่าความเข้มข้นของน้ำก่อนบำบัด ซึ่งจะมีปริมาณ Organic loading อยู่ประมาณ  $27.1 - 70.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  การลดปริมาณ COD จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ Organic loading จนถึงค่า  $4.9 \text{ kg TCOD}/\text{m}^3/\text{d}$  ซึ่งเป็นสภาวะที่มีปริมาณของออกซิเจนเหนือ Biofilm จำกัด ปริมาณ Organic และ Hydraulic loading จะมีผลต่อการกำจัด TSS (Total suspended solid) ในน้ำเสีย และเสถียรภาพของน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วจะแปรผกผันกับปริมาณ Organic loading

วิพุธ เลहनันท์ (2521) [19] ได้ทำการสร้างระบบถังโปรยกรองโดยใช้หินเป็นตัวกลาง เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบถังโปรยกรองจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญคือ ภาวะปริมาณน้ำ ภาวะสารอินทรีย์ ความลึก ขนาดของตัวกลาง และปัจจัยอื่นๆได้แก่ อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ เป็นต้น โดยที่การเพิ่มภาวะปริมาณน้ำมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกิด Nitrification และการกำจัด Suspended solids (SS) ลดลง

### บทที่ 3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การเตรียมโคโตแซน

วิธีการเตรียมโคโตแซนเตรียมตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดตามวิธีการของสุทธวัฒน์และคณะ [4] ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.1

##### 3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- เปลือกกุ้งอบแห้ง
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- ไฮโดรคลอริก (HCl)

##### 3.1.2 ขั้นตอนการเตรียมโคโตแซน

###### 1. เตรียมวัตถุดิบ

ล้างเปลือกกุ้งด้วยน้ำประปา ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วอบในตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นบดเปลือกกุ้งอบแห้งด้วยเครื่องบดที่ความเร็วต่ำสุด เพื่อไม่ให้เปลือกกุ้งอบแห้งละเอียดเกินไปจนเป็นผง แล้วใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกเปลือกกุ้งที่เล็กเกินไปจนเป็นผง ออก เก็บเปลือกกุ้งบดในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด

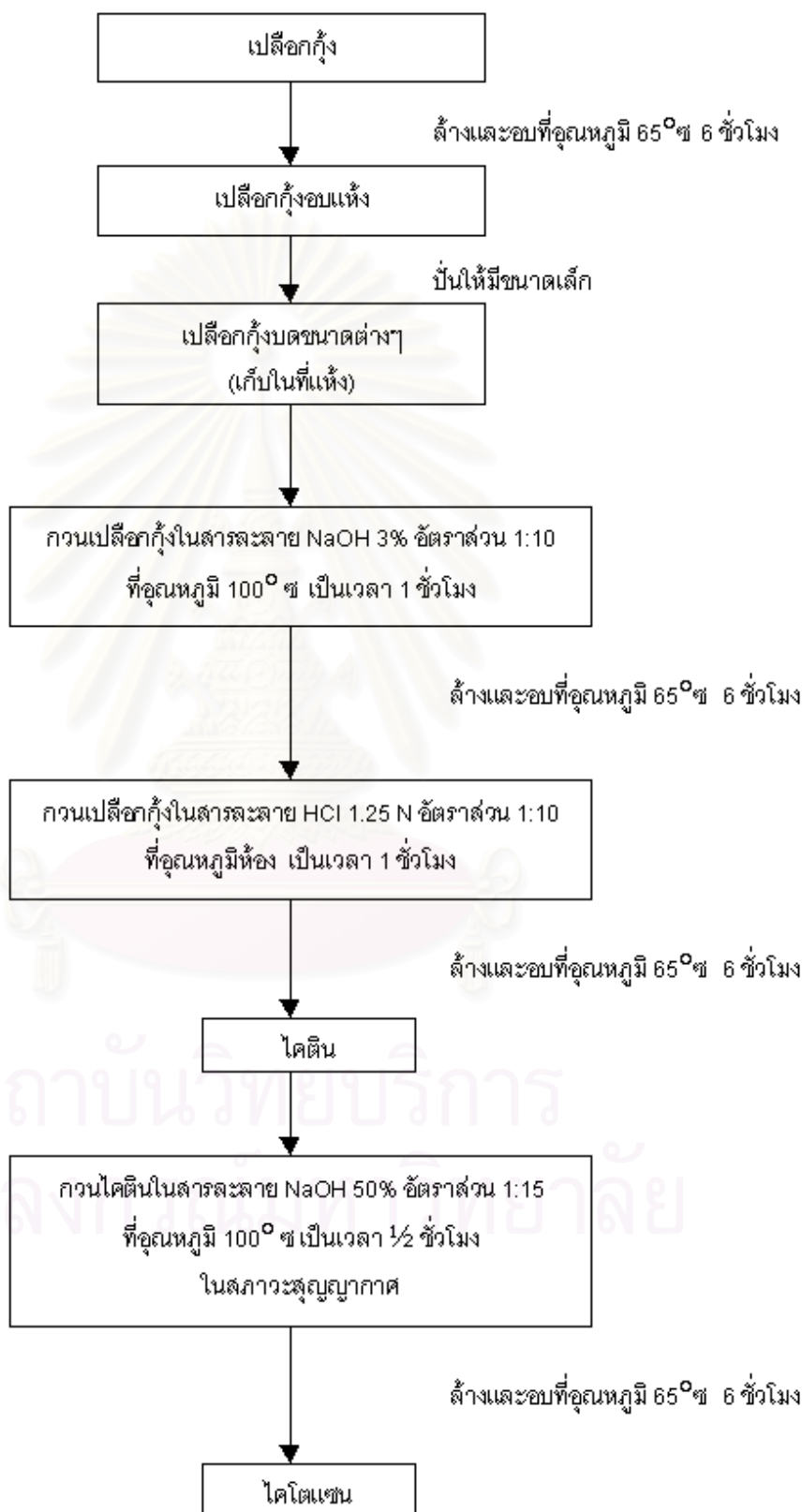
###### 2. การกำจัดโปรตีน

แช่เปลือกกุ้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (นน./ปริมาตร) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งบดต่อสารละลายต่างเท่ากับ 1:10 (นน./ ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

###### 3. การกำจัดแร่ธาตุ

นำเปลือกกุ้งที่ผ่านการกำจัดโปรตีนและผ่านการล้างจนมีสภาพเป็นกลางแล้วแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.25 นอร์มอล โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อสาร

ละลายกรดเท่ากับ 1:10 (นน./ปริมาตร) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65<sup>o</sup> ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้เรียกว่า “ไคติน”



รูปที่ 3.1 การเตรียมไคตินและไคโตแซน [ 4]

#### 4. การเตรียมโคโตแซน

ซึ่งโคตินให้ได้น้ำหนักแน่นอน แล้วเติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ (นน./นน.) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างโคตินและสารละลายต่างเท่ากับ 1:15 (นน./ปริมาตร) แล้วกำจัดหมู่อะซิติกที่อุณหภูมิ 100°ซ เวลา 30 นาที ในสภาวะสุญญากาศ นำของผสมระหว่าง โคโตแซน และสารละลายต่างขณะร้อน หลังจากการกำจัดหมู่อะซิติกแล้วผ่านลงไปใต้น้ำสะอาด ผสมน้ำเพื่อให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว แล้วจึงล้างให้มีสภาพเป็นกลางด้วยน้ำสะอาด ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60° ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

#### 5. การวิเคราะห์คุณสมบัติของโคโตแซน

โคโตแซนที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ มวลโมเลกุล ความหนืด และ ค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซิติก วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของโคโตแซน

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
มวลโมเลกุล	Gel permeation chromatography (GPC)
ความหนืด	Brookfield
ร้อยละการกำจัดหมู่อะซิติก	Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR)

### 3.2 การเตรียมสารละลายโคโตแซน

#### 3.2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้

- โคโตแซนชนิดเกล็ด
- กรดอะซิติกเข้มข้น

#### 3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโคโตแซน (ยกตัวอย่างจำนวน 100 กรัม)

##### 1. เตรียมกรดอะซิติก 1% (นน./นน.)

เตรียมจากกรดอะซิติกเข้มข้น 37% จำนวน 1 กรัม ผสมน้ำกลั่นจำนวน 99 กรัม

ได้สารละลายกรดอะซิติก 100 กรัม ความเข้มข้น 1% (นน./นน.)

2. เตรียมสารละลายไคโตแซน 1% (นน./นน.)

ซึ่งไคโตแซน 1 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 1% (นน./นน.) จำนวน 99 กรัม ได้สารละลายไคโตแซน 1% (นน./นน.) จำนวน 100 กรัม

### 3.3 ลักษณะของถังโปรยกรองและตัวกลาง

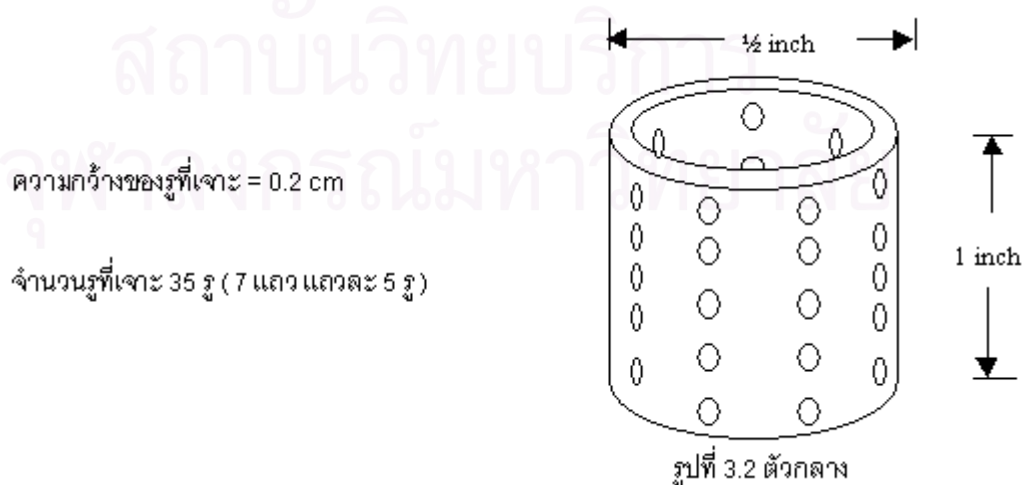
#### 3.3.1 ตัวกลาง (Media)

ตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำจากท่อพลาสติก PVC ตัดเป็นท่อนๆ เจาะรูที่ผนังท่อเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ลักษณะของตัวกลางแสดงดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2

#### 3.3.2 ถังโปรยกรอง

ออกแบบและสร้างถังโปรยกรองประเภท Low rate เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่นำมาจากถังปรับสมดุลของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ซึ่งผ่านชั้นตอนดักแยกของแข็งมาแล้ว โครงสร้างของถังโปรยกรองแสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.3

ได้ออกแบบถังโปรยกรองให้มี Hydraulic loading  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$ , อัตราการไหล  $136 \text{ cm}^3/\text{min}$ , ลึก 1 m และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m แต่เพื่อลดจำนวนตัวกลาง ได้แบ่งครึ่งถังโปรยกรอง โดยยังคงอัตราการไหลเท่ากับ  $136 \text{ cm}^3/\text{min}$  ดังนั้น Hydraulic loading ของหน่วยจึงเพิ่มขึ้นเป็น  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$



ตาราง 3.2 โครงสร้างของตัวกลางและถังโปรยกรอง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่แสดง
วัสดุที่ใช้สร้างหน่วยโปรยกรอง	-	พลาสติกอะคริลิก
Hydraulic loading	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	2
BOD loading	kg/m <sup>3</sup> .d	0.1
ขนาดของถังโปรยกรอง		
สูง	m	1.15
เส้นผ่านศูนย์กลาง	m	0.5
พื้นที่หน้าตัด	m <sup>2</sup>	$\frac{1}{2}[\pi \times (0.5/2)^2]^{\circledast}$
อัตราการไหลป้อนเข้า	cm <sup>3</sup> /min	136
จำนวนครั้งที่ไหลผ่าน	-	หนึ่งครั้ง
ตัวกลาง		
ชนิด		ท่อ PVC
ขนาด		φ 0.5" × 1"
ความสูงของชั้นตัวกลาง	m	1
จำนวนรูที่เจาะ	รู / ชั้น	35

<sup>๑</sup> แปลงครั้งถังโปรยกรอง





รูปที่ 3.3 ระบบไปรยกรองศึกษา ระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรอง (ซ้่าย) ระบบไปรยกรองธรรมดา (ขวา)

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 ระบบไปรยกรองธรรมดา (Conventional trickling filter)

##### - การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เป็นขั้นตอนที่เพิ่มเข้ามาเพื่อกระตุ้นให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้นบนผิวตัวกลางได้เร็วขึ้น ทำได้โดยใส่ตัวกลางทั้งหมดลงในถังที่เป็นภาชนะปิด เติมน้ำเสียที่ใช้แบบเดียวกับที่จะใช้ป้อนเข้าสู่ระบบใสในถังจนท่วมตัวกลางทั้งหมด เป่าอากาศเข้าสู่ถังจนกระทั่งพบว่าเมื่อกลั่นน้ำตาลเกาะที่ผิวของตัวกลางโดยใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน จึงพร้อมที่จะใช้งานได้ การที่ใช้น้ำเสียเป็นแบบชนิดเดียวกับที่จะใช้ป้อนเข้าระบบ เนื่องจากจะทำให้จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นที่ผิวตัวกลางคุ้นเคยกับน้ำเสียที่จะใช้ป้อนเข้าระบบ ทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวเร็วขึ้น

##### - บรรจุตัวกลางลงในถังไปรยกรอง

นำตัวกลางที่เลี้ยงเชื้อจนมีเมือกจุลินทรีย์เกาะที่ผิวแล้วมาบรรจุลงในถังไปรยกรองแบบส้อมโดยไม่ต้องกดชั้นของตัวกลาง บรรจุตัวกลางที่ความสูงต่างๆ คือที่ 0.8 เมตร และ 1 เมตร

##### - การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

น้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ระบบจะถูกเก็บที่ ถังพัก จากนั้นจะเข้าสู่ถังกวนแล้วไหลเข้าสู่ระบบ ผ่านถาดกระจายน้ำเสีย (Distributor) ซึ่งเจาะรูทั่วผิวถาดแบบส้อม (Random) ขนาดของรูที่เจาะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระดับน้ำเสียในถังกวนจะถูกควบคุมให้คงที่โดยการเติมน้ำในถังพักน้ำเสีย ปรับอัตราการไหลจากถังกวนให้มีค่าเท่ากับที่กำหนดไว้ในการออกแบบ

##### - การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ BOD, COD, TKN และ  $T-PO_4^{3-}$  โดยจะวัดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ก่อนเข้าสู่ระบบ และหลังผ่านระบบตามวิธีการมาตรฐาน APWA [20] สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียหลังผ่านระบบจะกระทำเมื่อระบบอยู่ในภาวะคงตัวแล้ว โดยดูจากค่า COD ซึ่งวัดทุกๆ ครั้งวัน จนกว่าค่าจะคงที่ จึงเริ่มวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เพราะค่า COD ให้ข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า BOD

### 3.4.2 ระบบร่วมเยื่อแผ่น – ถังโปรยกรอง (Combined membrane-trickling filter)

- แบ่งตัวกลางออกเป็น 2 ส่วน

คือ ส่วนที่ไม่ได้เคลือบไคโตแซน กับส่วนที่เคลือบไคโตแซน

- การเคลือบสารละลายพอลิเมอร์บนตัวกลาง

การเคลือบเยื่อแผ่นบนตัวกลางสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการจุ่มแช่ตัวกลางในสารละลายพอลิเมอร์ สารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ในที่นี้คือไคโตแซน แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการทาสารละลายไคโตแซนบนผิวของตัวกลาง เนื่องจากใช้สารละลายไคโตแซนจำนวนน้อยกว่าวิธีการจุ่มแช่ ทำให้ประหยัดและแห้งเร็วกว่า เมื่อสารละลายแห้งจะเกิดเป็นเยื่อแผ่นเคลือบที่ผิวของตัวกลางและปิดรูของตัวกลางที่เจาะไว้

- การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

จะทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ให้เกาะบนตัวกลางส่วนที่ไม่ได้เคลือบเยื่อแผ่นเท่านั้น โดยวิธีการเช่นเดียวกับระบบโปรยกรองธรรมดาที่กล่าวข้างต้น โดยไม่ทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ให้เกาะบนตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่น เนื่องจากเยื่อแผ่นไคโตแซนสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ และต้องการให้เกิดจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับคุณลักษณะน้ำบริเวณส่วนล่างของถัง

- การบรรจุตัวกลางลงในถังโปรยกรอง

จะทำการบรรจุตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่นลงไปที่ส่วนล่างของถังก่อน จากนั้นจึงบรรจุตัวกลางที่มีเมือกจุลินทรีย์เกาะทับลงไป เพราะฉะนั้นระบบจึงประกอบด้วยตัวกลาง 2 ชั้น ชั้นล่างจะเป็นตัวกลางที่เคลือบเยื่อแผ่น ชั้นบนเป็นตัวกลางที่ไม่ได้เคลือบโดยมีเมือกจุลินทรีย์เกาะอยู่ ความสูงของตัวกลางส่วนที่ไม่ได้เคลือบเยื่อแผ่นจะถูกกำหนดให้คงที่ที่ 0.8 เมตร ปรับความสูงของตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่นเป็น 0.1 เมตร และ 0.2 เมตร

- การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

เช่นเดียวกับระบบโปรยกรองธรรมดาที่กล่าวข้างต้น น้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ระบบจะถูกเก็บที่ ถังพัก จากนั้นจะเข้าสู่ถังกวนแล้วไหลเข้าสู่ระบบ ผ่านภาคกระจายน้ำเสีย (Distributor) ซึ่งเจาะรูทั่วผิวภาคแบบสุ่ม (Random) ขนาดของรูที่เจาะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระดับน้ำ

เสียในถังกวนจะถูกควบคุมให้คงที่โดยการเติมน้ำในถังพักน้ำเสีย ปรับอัตราการไหลจากถังกวนให้มีค่าเท่ากับที่กำหนดไว้ในการออกแบบ

- การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เช่นเดียวกับระบบโปรยกรองธรรมดาที่กล่าวข้างต้น ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ BOD, COD, TKN และ  $T-PO_4^{3-}$  โดยจะวัดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ก่อนเข้าสู่ระบบและหลังผ่านระบบตามวิธีการมาตรฐาน APWA [20] สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียหลังผ่านระบบจะกระทำเมื่อระบบอยู่ในภาวะคงตัวแล้ว โดยดูจากค่า COD ซึ่งวัดทุกๆ ครั้งวัน จนกว่าค่าจะคงที่ จึงเริ่มวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เพราะค่า COD ให้ข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า BOD



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 4.1 คุณสมบัติของโคโตแซน

ร้อยละผลได้และคุณสมบัติสำคัญของโคโตแซนที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ได้แก่ ความหนืด (Viscosity) มวลโมเลกุล (Molecular weight) และค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล (%Deacetylation) แสดงในตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบกับโคโตแซนที่วิเคราะห์โดยงานวิจัยอื่น และโคโตแซนที่จำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของโคโตแซน

พารามิเตอร์	หน่วย	โคโตแซนที่เตรียมได้	สุมาลัยและคณะ [21]	สุกธวัฒน์และคณะ [4]	โคโตแซนขายในท้องตลาดบริษัท Fluka [4]	
					ชนิด MW สูง	ชนิด MW ต่ำ
ร้อยละผลได้เฉลี่ยเทียบกับเปลือกกุ้งเทียบกับโคติน	%	22 75	24.3 82.3	21.0 78.4	-	-
มวลโมเลกุล	ดัลตัน	$1.8 \times 10^6$	$5.1 \times 10^6$	-	$2 \times 10^6$	$7 \times 10^4$
ความหนืด <sup>a</sup>	เซนติพอยส์	4500	540	10183	1061	202
ร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล	%	84.4	82.3	-	90	70

<sup>a</sup> ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมขึ้นในแต่ละงานวิจัย

จากตารางพบว่าร้อยละผลได้ของโคโตแซนที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกับร้อยละผลได้ของโคโตแซนที่เตรียมได้จากงานวิจัยอื่น โดยที่ค่าร้อยละผลได้ของโคโตแซนที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้งอบแห้ง และมีค่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักโคติน เปรียบเทียบกับค่าร้อยละผลได้จากงานวิจัยอื่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.3 และ 21.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้งอบแห้ง และมีค่าเท่ากับ 82.3 และ 78.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักโคติน

มวลโมเลกุลของโคโคแซนที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ  $1.8 \times 10^6$  ดัลตัน จัดเป็นชนิดมวลโมเลกุลสูงตามลักษณะของโคโคแซนที่ขายในเชิงพาณิชย์ ส่วนความหนืดมีแนวโน้มเดียวกันกับมวลโมเลกุล นั่นคือที่มวลโมเลกุลสูงจะมีค่าความหนืดสูงด้วย ในขณะเดียวกันค่าความหนืดของโคโคแซนขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมขึ้นด้วย โคโคแซนชนิดมวลโมเลกุลสูงจะมีขนาดโมเลกุลยาว ส่งผลให้ความหนืดมีค่าสูง ส่วนชนิดที่มีค่ามวลโมเลกุลต่ำจะมีขนาดโมเลกุลสั้น เนื่องจากในขั้นตอน Deacetylation ต้องทำในสภาวะรุนแรงคือในสารละลายต่างเข้มข้นและที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้โมเลกุลถูกตัดขาดทำให้มีความหนืดต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาดำเนินการในขั้นตอน Deacetylation ยังมีผลต่อค่าความหนืดด้วย ถ้าระยะเวลาสั้นจะมีความหนืดสูง

#### 4.2 น้ำหนักของโคโคแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลาง

เพื่อแสดงว่า เยื่อแผ่นที่เคลือบติดบนตัวกลางมีความสม่ำเสมอคงที่ จึงได้ทำการวิเคราะห์หาน้ำหนักของโคโคแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางอย่างสุ่ม 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 คือจากตัวกลางแต่ละชิ้น และจากกลุ่มตัวกลางอีกจำนวนหนึ่ง

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของโคโคแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางแต่ละชิ้น

ตัวกลาง	น้ำหนัก (กรัม)		
	ก่อนเคลือบ	หลังเคลือบ	ผลต่าง
1	4.6506	4.6629	0.0123
2	4.7396	4.7526	0.013
3	5.0157	5.0298	0.0141
4	4.8186	4.8323	0.0137
5	5.7598	5.7739	0.0141
เฉลี่ย	<b>4.99686</b>	<b>5.0103</b>	<b>0.01344</b>
STDEV	0.447294	0.447841	0.00078



ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของโคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางเฉลี่ยต่อชิ้น

ตัวกลาง	น้ำหนัก (กรัม)		
	ก่อนเคลือบ	หลังเคลือบ	ผลต่าง
11 ชิ้น	52.7033	52.8533	0.15
เฉลี่ย/ชิ้น	-	-	0.0136

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าน้ำหนักของโคโตแซนที่เคลือบบนผิวของตัวกลางแต่ละชิ้น โดยทำการสุ่มเลือกตัวกลางมา 5 ชิ้น ซึ่งน้ำหนักตัวกลางแต่ละชิ้นก่อนเคลือบโคโตแซน ทาโคโตแซนบนผิวตัวกลางแล้วปล่อยให้แห้ง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักตัวกลางแต่ละชิ้นหลังเคลือบ ผลต่างของน้ำหนักตัวกลางก่อนและหลังเคลือบคือ น้ำหนักโคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางชิ้นนั้นๆ พบว่าน้ำหนักของโคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก เฉลี่ยเท่ากับ 0.0134 กรัม

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าน้ำหนักของโคโตแซนที่เคลือบบนผิวของตัวกลางเฉลี่ยต่อชิ้น โดยสุ่มเลือกตัวกลางมา 11 ชิ้น ซึ่งน้ำหนักตัวกลางทั้งหมด 11 ชิ้นก่อนเคลือบ จากนั้นนำตัวกลางทั้งหมดไปเคลือบสารละลายโคโตแซน ปล่อยให้แห้ง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักตัวกลางทั้งหมดหลังเคลือบ ผลต่างของน้ำหนักตัวกลางทั้งหมดก่อนเคลือบและหลังเคลือบ คือน้ำหนักโคโตแซนที่เคลือบบนผิวตัวกลางทั้งหมด คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นได้ 0.0136 กรัม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าน้ำหนักของโคโตแซนเฉลี่ยต่อชิ้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงความสม่ำเสมอในการเคลือบผิวของตัวกลาง ทำให้สามารถตัดผลกระทบเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการเคลือบทิ้งไปได้

#### 4.3 ผลการศึกษาการทำงานของถังโปรยกรองธรรมดาเปรียบเทียบกับระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของระบบโปรยกรองธรรมดา กับ ระบบรวมเยื่อแผ่น - ถังโปรยกรอง แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบไปรยกรองธรรมชาติกับระบบร่วมเยื่อแผ่น – ถังไปรยกรอง

Unit type		Conventional TF				Combined membraneTF			Combined membraneTF		
Media depth [m]		0.8		1		0.8:0.1 <sup>a</sup>			0.8:0.2 <sup>a</sup>		
Run number		1	2	1	2	1	2	3	1	2	3
BOD <sub>5</sub> [mg/l]	Influent	51.4	39.6	62.4	22.8	22.2	36.2	42.3	18	40	42.85
	Effluent	25.1	20.1	34	10.1	5.7	17.6	16.2	4.2	25.2	17.25
	Efficiency [%]	51.2	47.3	45.5	55	74.3	51.5	61.7	76.7	37	60
	Average eff.	49.2		50.2		62.5			57.9		
COD [mg/l]	Influent	84	120	136	84	76	116	96	80	88	60
	Effluent	36	54	70	32	28	40	32	32	28	16
	Efficiency [%]	57	55	48.5	62	63.2	62	66	60	68.2	73
	Average eff.	56		55.2		63.7			67.1		
TKN [mg/l]	Influent	9.86	8.96	12.9	6.72	11.2	5.2	9.74	12.1	11.9	9.1
	Effluent	6.94	5.94	10	3.58	7.2	1.9	5.48	10.1	6.27	5.04
	Efficiency [%]	29.6	33.7	22.5	46.7	35.7	65.5	43.7	16.5	47.6	44.6
	Average eff.	31.6		34.6		48.3			36.2		
TP [mg/l]	Influent	12.7	11.9	11.4	13.2	10	10.58	10.9	12.9	13.8	10.7
	Effluent	11.5	10.9	10.1	12.56	9.3	9.7	7.88	10.1	11.4	7.9
	Efficiency [%]	9.4	8.2	11.4	4.85	6.7	8.3	27.7	21.7	17.4	26.1
	Average eff.	8.8		8.1		14.2			21.7		
BOD:N:P ที่จุลินทรีย์ต้องการ		100:11.1:4.6		100:10.2:4.6		100:16.3:11.6			100:15.8:11		

<sup>a</sup>คือ ความลึกของตัวกลางส่วนที่ไม่ได้เคลือบเยื่อแผ่น:ความลึกของตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่น

#### 4.3.1 การตรวจสอบการออกแบบระบบทดลอง

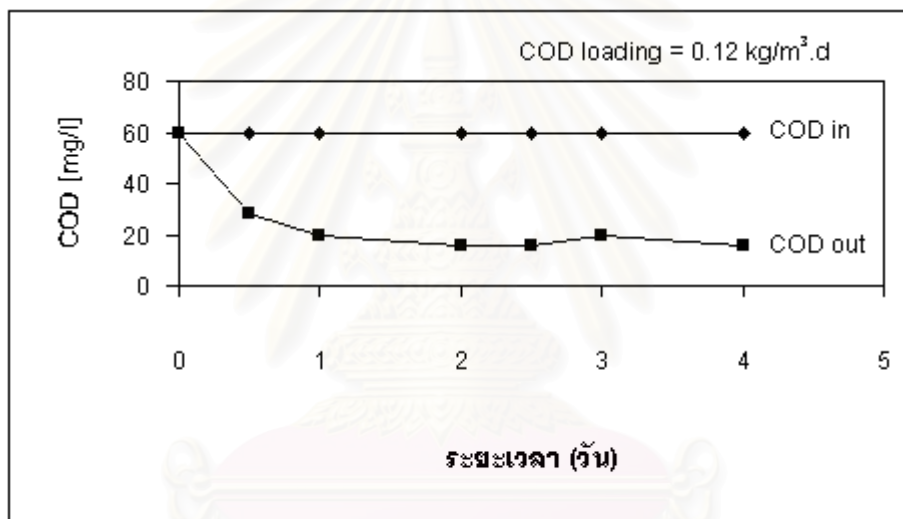
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าน้ำเสียขาเข้าของแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชนค่อนข้างที่จะไม่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยารองด้วยประสิทธิภาพการกำจัด (Removal efficiency) การแสดงลักษณะของน้ำเสียที่เข้าระบบแสดงในเทอม Organic (BOD, COD) loading, N-loading และ P-loading ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการออกแบบระบบทดลองกับข้อกำหนดการออกแบบ

Unit type	Conventional TF				Combined membrane TF			Combined membrane TF		
	0.8		1		0.8:0.1			0.8:0.2		
Run number	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3
BOD <sub>5</sub> loading [kg/m <sup>3</sup> .d]	0.102	0.078	0.124	0.045	0.044	0.072	0.084	0.03	0.079	0.085
COD loading [kg/m <sup>3</sup> .d]	0.166	0.238	0.269	0.166	0.151	0.230	0.190	0.16	0.174	0.119
N-loading [kg/m <sup>3</sup> .d]	0.019	0.017	0.025	0.013	0.022	0.010	0.019	0.02	0.023	0.018
P-loading [kg/m <sup>3</sup> .d]	0.025	0.023	0.022	0.0260	0.019	0.021	0.022	0.03	0.027	0.021

ตามตารางที่ 2.4 ถึงปฏิกิริยารองแบบ Low-rate ควรจะมีค่า BOD<sub>5</sub> loading อยู่ในช่วง 0.08-0.4 kg/m<sup>3</sup>.d และมีค่า Hydraulic loading อยู่ในช่วง 1-3.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d เมื่อเปรียบเทียบกับ BOD<sub>5</sub> loading ของระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.124 kg/m<sup>3</sup>.d โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.074 kg/m<sup>3</sup>.d และค่า Hydraulic loading เท่ากับ 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d ดังกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.3.2 และแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข. จะเห็นว่า BOD<sub>5</sub> loading ของระบบที่ทำการศึกษามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าตามทฤษฎี โดยค่า BOD<sub>5</sub> loading ของระบบจะมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ต่ำสุดของ BOD<sub>5</sub> loading ตามทฤษฎี ซึ่งมีสาเหตุมาจากน้ำเสียขาเข้าที่เข้าสู่ระบบที่ทำการศึกษา ได้ผ่านขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นจากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยามาแล้ว ส่วนค่า Hydraulic loading ของระบบที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วงของค่า Hydraulic loading ตามทฤษฎี เนื่องจากใช้ค่า Hydraulic loading ตามทฤษฎีเป็น Criteria ในการออกแบบสร้างถังปฏิกิริยารอง

จากตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ Effluent ในแต่ละระบบเป็นค่าที่ทำกรวัดหลังจากระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ  $\frac{1}{2}$  - 1 วัน โดยติดตามดูจากการลดลงของค่า COD ทุกๆ  $\frac{1}{2}$  วัน จนกระทั่งมีค่าคงที่ แสดงว่าระบบได้เข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สาเหตุที่เลือกใช้ค่า COD ในการติดตามดูแนวโน้มเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่สั้นกว่าการวิเคราะห์ BOD มาก รูปที่ 4.1 เป็นข้อมูลของระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.2 cm โดยเปรียบเทียบ COD ที่เข้าระบบและ COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ณ เวลาต่างๆ โดยน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า COD loading เท่ากับ  $0.12 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$



รูปที่ 4.1 ระยะเวลาในการเข้าสู่ภาวะคงตัว

#### 4.3.2 ลักษณะการทำงานของระบบศึกษา

##### 1. ระบบโปรยกรองธรรมดา

พิจารณาตารางที่ 4.4 ระบบโปรยกรองทำการทดลองที่ 2 ความสูงคือ ที่ 0.8 เมตร และที่ 1 เมตร พบว่าระบบสามารถทำการกำจัดสารอินทรีย์ได้ โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด  $BOD_5$  ที่ความสูง 0.8 และ 1 เมตร เป็น 49% และ 50% ตามลำดับ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด COD ที่ความสูง 0.8 และ 1 เมตร เป็น 56% และ 55% ตามลำดับ นอกจากนี้ระบบโปรยกรองยังสามารถกำจัดสารอาหารในน้ำเสียได้ โดยที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด TKN ที่ความสูง 0.8

และ 1 เมตร เป็น 31.6% และ 34.6% ส่วนประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด  $T-PO_4^{3-}$  ที่ความสูง 0.8 และ 1 เมตร เป็น 8.8% และ 8.1% ตามลำดับ

การวิเคราะห์อัตราส่วนของ BOD:N:P ที่จุลินทรีย์ต้องการในระบบโปรยกรองศึกษาที่ความสูง 0.8 เมตร และ 1 เมตร พบว่ามีค่าเป็น 100:11.1:4.6 และ 100:10.2:4.6 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วน BOD:N:P ที่เหมาะสมในระบบเลี้ยงตะกอนเร่งทั่วไป (Conventional activated sludge) คือเท่ากับ 100:5:1 แสดงว่าในระบบโปรยกรองศึกษาสามารถกำจัดสารอินทรีย์-ไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้สูง

## 2. ระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง

ระบบนี้ทำการทดลองที่ 2 ความสูงเช่นเดียวกัน คือ ทำที่ความสูงของตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่นเป็น 0.1 เมตร และ 0.2 เมตร โดยที่ให้ความสูงของตัวกลางส่วนที่ไม่ได้เคลือบเยื่อแผ่นคงที่ที่ 0.8 เมตร พิจารณาตารางที่ 4.4 พบว่าระบบสามารถทำการกำจัดสารอินทรีย์ได้ โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด  $BOD_5$  ที่ความสูง 0.8:0.1 และ 0.8:0.2 เมตร เป็น 62.5% และ 57.9% ตามลำดับ และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด COD ที่ความสูง 0.8:0.1 และ 0.8:0.2 เมตร เป็น 63.7% และ 67.1% ตามลำดับ นอกจากนี้ระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองยังสามารถกำจัดสารอาหารในน้ำเสียได้เพิ่มขึ้น โดยที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด TKN ที่ความสูง 0.8:0.1 และ 0.8:0.2 เมตร เป็น 48.3% และ 36.2% ส่วนประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด  $T-PO_4^{3-}$  ที่ความสูง 0.8:0.1 และ 0.8:0.2 เมตร เป็น 14.2% และ 21.7% ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ในเทอมของ BOD:N:P ที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร และ 0.8:0.2 เมตร มีค่าเป็น 100:16.3:11.6 และ 100:15.8:11 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วน BOD:N:P ในระบบโปรยกรองธรรมดา แสดงว่าการแทนที่ชั้นตัวกลางในส่วนล่างของถังเป็นชั้นตัวกลางที่เคลือบผิวด้วยโคโคแซน สามารถกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารในน้ำเสียชุมชนได้มากขึ้น โดยเฉพาะการกำจัดสารอาหาร ซึ่งโดยปกติต้องการระบบบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary treatment) ต่อจากระบบบำบัดขั้นที่ 2 ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

สรุปได้ว่าระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบโปรยกรองธรรมดา โดยการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอมของ  $BOD_5$  และ COD ของระบบโปรยกรองธรรมดามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50% และ 55% ตามลำดับ ส่วนของระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 60% และ 65% ตามลำดับ การกำจัด TKN ของระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าของระบบโปรยกรองธรรมดาเล็กน้อย กล่าวคือเพิ่มขึ้นจาก 31-35% เป็น

36-50% การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบโปรยกรองธรรมดามีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยอยู่ที่ 8% ส่วนของระบบรวมเยื่อแผ่น-ถึงโปรยกรองมีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15-20%

#### 4.3.3 ผลของความสูงต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

จากตารางที่ 4.6 การลดชั้นความสูงของตัวกลางในระบบโปรยกรองธรรมดาสูง 20 ซม. ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารของระบบลดลง คือที่ความสูง 0.8 เมตร และ 1 เมตร ประสิทธิภาพการกำจัด BOD มีค่าประมาณ 50% และประสิทธิภาพการกำจัด COD มีค่าประมาณ 55% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด TKN มีค่าประมาณ 30-35% และประสิทธิภาพการกำจัด ฟอสฟอรัสมีค่าประมาณ 8-9% ขณะเดียวกันการเพิ่มชั้นความสูงของตัวกลางที่เคลือบเยื่อแผ่นขึ้น 10 ซม. ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบรวมดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร และ 0.8:0.2 เมตร ประสิทธิภาพการกำจัด BOD มีค่าประมาณ 60% และประสิทธิภาพการกำจัด COD มีค่าประมาณ 65% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด TKN มีค่าประมาณ 35-50% และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าประมาณ 15-20%

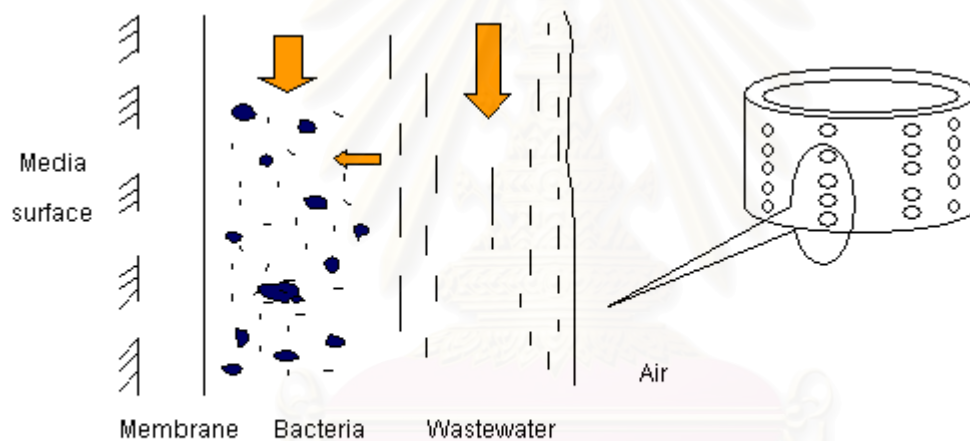
ตารางที่ 4.6 สรุปค่าประสิทธิภาพเชิงกำจัดเฉลี่ยของระบบโปรยกรองธรรมดาเปรียบเทียบกับระบบรวมเยื่อแผ่น-ถึงโปรยกรองที่ระดับความสูงต่างๆ

ชนิดของระบบ	ระบบโปรยกรอง ธรรมดา		ระบบรวม เยื่อแผ่น-ถึงโปรยกรอง	
	ความลึกตัวกลาง [m]	0.8	1	0.8 : 0.1
BOD removal efficiency [%]	49.25	50.25	62.5	57.9
COD removal efficiency [%]	56	55.25	63.7	67.1
TKN removal efficiency [%]	31.65	34.6	48.3	36.2
T-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> removal efficiency [%]	8.8	8.12	14.2	21.7



#### 4.3.4 กลไกการทำงานของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริย

จากข้อมูลการทดลองจะเห็นได้ว่าระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารได้ดีกว่าระบบถังปฏิกิริยแบบธรรมดา เนื่องจากระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริยนั้น ตัวกลางส่วนหนึ่งได้ถูกเคลือบโดยโคโตนซึ่งเป็นโพลิเมอร์ ทำให้มีเมือกจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ง่ายบนผิวของตัวกลางและเป็นจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมตรงส่วนล่างของถัง ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอาหารของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริยดีขึ้นกว่าระบบปฏิกิริยธรรมดา ดังนั้นกลไกการทำงานจึงเป็นดังรูปที่ 4.2 เช่นเดียวกับระบบปฏิกิริยปกติ เพียงแต่มีชั้นเยื่อแผ่นซึ่งทำหน้าที่ล่อให้เกิดเมือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นขึ้น



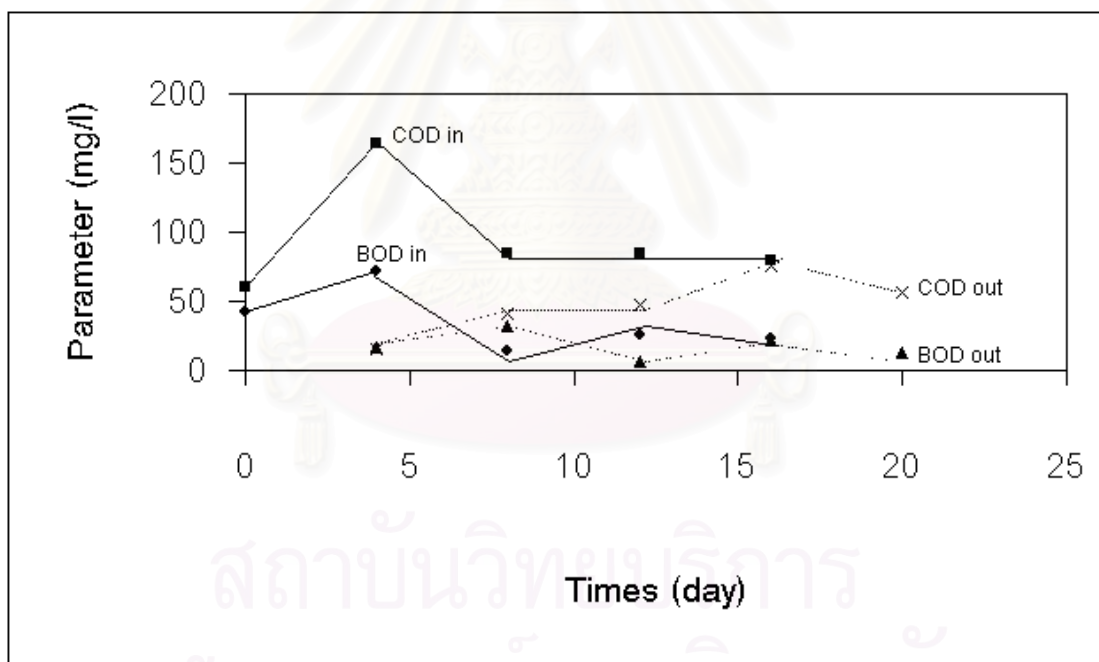
รูปที่ 4.2 กลไกการทำงานของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริย

#### 4.4 การศึกษาการทำงานในช่วงระยะยาว

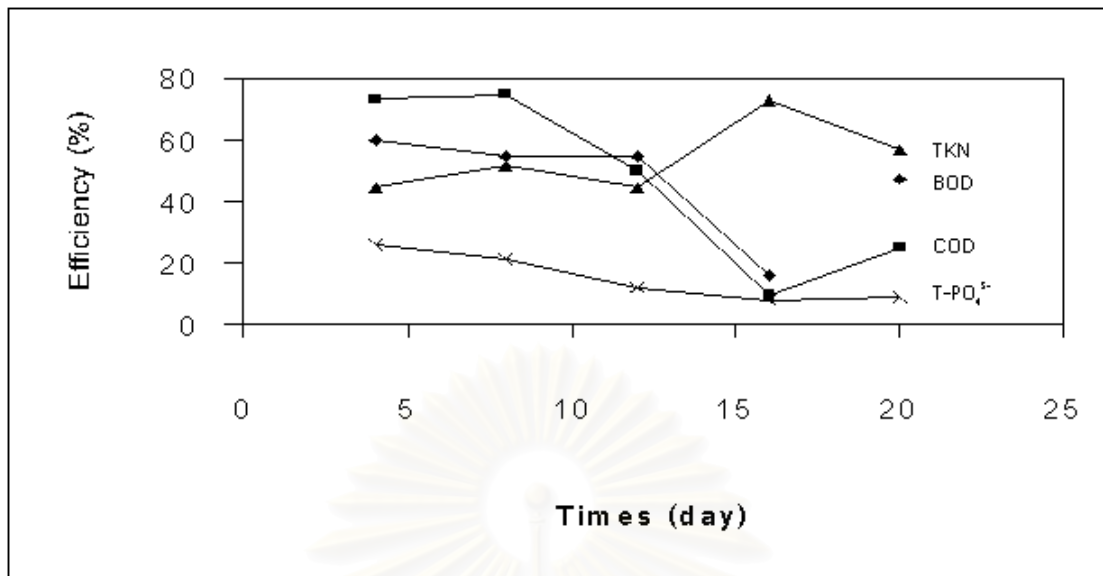
เยื่อแผ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำจากโคโตนซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ จึงมีอายุการใช้งาน ได้ศึกษาโดยการดำเนินการบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องกับระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังปฏิกิริย จนกระทั่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD หรือ COD ลดลงอย่างมากจึงหยุดและทำการประเมินอายุการใช้งาน ได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับระยะเวลาที่ทำการบำบัด

ระยะเวลาทำการบำบัด ( วัน )	ประสิทธิภาพการกำจัด [ % ]			
	BOD	COD	TKN	T-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
4	60	73	44.6	26.1
8	54.8	74.8	51.6	21.2
12	54.7	50	44.4	12.2
16	16	9.5	72.6	7.9
20	47	25	56.7	9.24



รูปที่ 4.3 BOD และ COD ขาเข้าและขาออกที่ระยะเวลาต่างๆของการบำบัด



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดของพารามิเตอร์ต่างๆกับระยะเวลาที่ทำการบำบัด

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่า BOD และ COD ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อค่า BOD สูงหรือต่ำ ค่า COD ก็จะมีค่าสูงต่ำตามด้วย เช่นเดียวกับค่า BOD และ COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าในช่วงแรกของการบำบัด (4-12 วัน) ค่าประสิทธิภาพการบำบัดต่างๆ คือ BOD, COD, TKN และ T-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> มีค่าค่อนข้างคงที่เท่ากับ  $57.35 \pm 2.65$ ,  $61.5 \pm 11.5$ ,  $48 \pm 3.6$  และ  $19.15 \pm 6.95$  mg/l ตามลำดับ จากนั้นค่าประสิทธิภาพในการบำบัดต่างๆจะมีค่าลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะค่า BOD และ COD (ยกเว้น TKN) เมื่อผ่านการบำบัดไป 16 วัน อายุการใช้งานของเยื่อแผ่นไคโตแซนเท่ากับ 12 วัน ซึ่งเมื่อนำตัวกลางส่วนที่เคลือบเยื่อแผ่นมาตรวจดู พบว่าเยื่อแผ่นส่วนใหญ่มีเคลือบบนผิวตัวกลางมีการสลายตัวหลุดออก

การเพิ่มขึ้นของ TKN ในช่วงของการบำบัดระหว่างวันที่ 13-16 แล้วลดลงอยู่ในค่าปกติในช่วงระหว่างวันที่ 17-20 พร้อมกับความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ที่คืนกลับดีอีกครั้งหนึ่ง เป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจ ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ แต่ในเบื้องต้นนี้น่าจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลของชนิดแบคทีเรีย โดยเกิด Autotrophic bacteria มากกว่า Heterotrophic bacteria ทำให้ TKN ในน้ำเสียหายไปมากขึ้น ขณะที่สารอินทรีย์ถูกกำจัดได้น้อยลง แต่หลังจากนั้นระบบก็จะเข้าสู่สมดุลของชนิดแบคทีเรียใหม่ จนกระทั่งมีสมดุลของชนิดแบคทีเรียเช่นเดียวกับในระบบไปรยกรองปกติ เมื่อไคโตแซนที่เคลือบบนตัวกลางถูกย่อยสลายไปหมด

บทที่ 5  
สรุปผลการทดลอง

1. ไคโตแซนที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีค่า มวลโมเลกุลเท่ากับ  $1.8 \times 10^6$  ดัลตัน ความหนืดเท่ากับ 4500 เซนติพอยส์ และร้อยละการกำจัดหมู่อะซิติลเท่ากับ 84.4
2. น้ำหนักของไคโตแซนที่เคลือบบนผิวของตัวกลางมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งถือว่าการเคลือบทำได้อย่างสม่ำเสมอในทุกตัวกลาง
3. ระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงกว่าระบบโปรยกรองธรรมดา จากประมาณ 50% เป็น ประมาณ 60% และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงกว่าเช่นเดียวกันคือ จากประมาณ 55% เป็น 65%
4. ระบบโปรยกรองธรรมดามีค่าประสิทธิภาพในการกำจัด  $T-PO_4^{3-}$  ที่ประมาณ 8-9% ส่วนระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัด  $T-PO_4^{3-}$  เพิ่มขึ้น เป็น 15-20%
5. อายุการใช้งานของเยื่อแผ่นไคโตแซนประมาณ 12 วัน
6. แนวความคิดของการปรับปรุงระบบโปรยกรองธรรมดาเป็นระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรองด้วยเยื่อแผ่นไคโตแซนมีความเป็นไปได้ เมื่อพิจารณาจาก BOD:N:P ที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 6  
ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงไปรษณีย์ โดยปรับความสูงของตัวกลางส่วนที่เคลือบเชื่อมต่อเพิ่ม
2. ควรทำการทดลองระบบไปรษณีย์ธรรมดา และระบบร่วมเชื่อมต่อ-ถึงไปรษณีย์ โดยใช้ตัวกลางเป็นวัสดุประเภทอื่น
3. ควรทำการทดลองหาอายุการใช้งานของเชื่อมต่อที่เคลือบบนผิวของตัวกลางซ้ำ โดยเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาให้ยาวนานกว่าเดิม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. พูนศิริ สิ้นธุรัตน์. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษคอนกรีตเป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
2. Grady, C.P.L., Daigger, G.T., and Lim, H.C., Biological Wastewater Treatment. 2<sup>nd</sup> edition. (n.p.):Marcel Dekker, 1999
3. Blair, H.S., Guthrie, J., Law, T-K, and Turkington, P., Chitosan and Modification Chitosan Membranes. Preparation and Characterisation, J. of Appl. Polym. Sci 33(1987): 641-656.
4. สุทธิวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภณดร. การผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแช่บ๊วย. ว.สงขลานครินทร์ 12 (เมษายน 2534): 439-443.
5. ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งในประเทศไทย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2536: 121-171. อ้างถึงใน พูนศิริ สิ้นธุรัตน์. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษคอนกรีตเป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
6. ธงชัย พรรณสวัสดิ์, มีนา พิทยโสภณกิจ, ปราณี พันธุ์สินชัย และ อินจิรา นิยมภูร. เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไพนธ์อาร์ต, 2536. อ้างถึงใน พูนศิริ สิ้นธุรัตน์. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษคอนกรีตเป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2543.



7. เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย. 2 เล่ม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มิตรนภา, 2357.
8. สุเมธ ชวเดช. การบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสอนภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
9. กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. ภาควิชาสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2522.
10. Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering Treatment. Disposal. Reuse. 3<sup>rd</sup> ed. New York : McGraw – Hill Book, 1991.
11. Han, S. M. What is chitin/chitosan? (<http://user.chollian.net/~chitin/prechitosan.gif>) Laboratory of Biomaterial Science. Environmental Engineering. Seoul National University of Technology.
12. ยาวภา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534
13. Muzzarelli, R.A.A., Chitin, Pergamon Press. Oxford. 1997.
14. Pollution Control Department. Law and Standard on Pollution Control in Thailand. 3<sup>rd</sup> Edition, (n.p.):1994.
15. Parker, D. S., Romano, L. S., Harold, S. H. Making a trickling filter/solids Contact process work for cold weather nitrification and phosphorus removal. Water Environment Research. 70 (1998): 181-188.

16. Miller, G. E., and George, S. L. Evaluation of a Trickle Biofilter in a Recirculating Aquaculture System containing Channel Catfish. Aquacultural Engineering 3 (1984): 39-57.
17. Ponte, M., Piscalaway, N.J., Joseph, L., and Rahway, N.J., Mechanical Ventilation System to Capture Gases Released from Wastewater Passing through Rock Media Trickle Filter. JacobsEnvironmental. (1996)
18. Randall, A.A., et al. Industrial Pretreatment Trickle Filter Performance and Design. Journal of Environmental Engineering 11(1997): 1072-1079.
19. วิพุธ เลहनันท์. การศึกษาวิธีการกำจัดน้ำทิ้งชุมชนโดยแบบจำลองทริกคิ่งฟิลเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
20. American Public Work Association (APWA). Standard Method for the Examination Of Water and Wastewater. 17<sup>th</sup> ed., Washington, D.C., 1992.
21. Sumalai Srikulthong., et al., Preparation of Chitosan from Shell of Black Tiger Shrimp and Synthesis of its Derivatives for Enhancement of Heavy Metal Adsorption. Thailand Institute of Scientific and Technological Research (1998).
22. Sipraya Water Quality Improvement Factory, Water Quality Management Division, Department of Drainage and Sewerage, Bangkok Metropolitan Administration.
23. Takanori, S., Keisuke, K., and Yoshio, I. Studies on Chitin. Die Makromolekulae Chemie 176 (1975): 1191-1195.

24. Knorr, D. Use of chitinous polymer in food. Food Technology 38 (1984): 85.
25. Bhavender, S., and Ahlert, R. C. Nitirfication and nitrogen removal. Water Research 11(1997): 897-925.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก. การหาลักษณะของโคโตแซน

### ก.1 การหาความหนืด (Viscosity)

#### อุปกรณ์

Brookfield Viscometer model LVT serial ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายโคโตแซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร วัดอุณหภูมิตัวอย่างให้มีค่าประมาณ 25 องศาเซลเซียส จึงเริ่มทำการวัด
2. ต่อเข็มเบอร์ 2 เข้ากับแกนของเครื่องวัด ปรับระดับเข็มให้ร่องเข็มอยู่ในระดับเดียวกับผิวหน้าของตัวอย่าง
3. ปรับระดับ อัตราเร็วรอบต่อนาที (rpm) ของเครื่องให้มีค่าเท่าที่ต้องการเปิดเครื่อง ปรับศูนย์ แล้วเปิดปุ่มมอเตอร์ (Motor) ให้เข็มหมุนจนค่าที่อ่านได้คงที่ ซึ่งในการทดลองใช้เวลา 1 นาที แล้วอ่านค่าที่ได้

### ก.2 การหา Degree of deacetylation

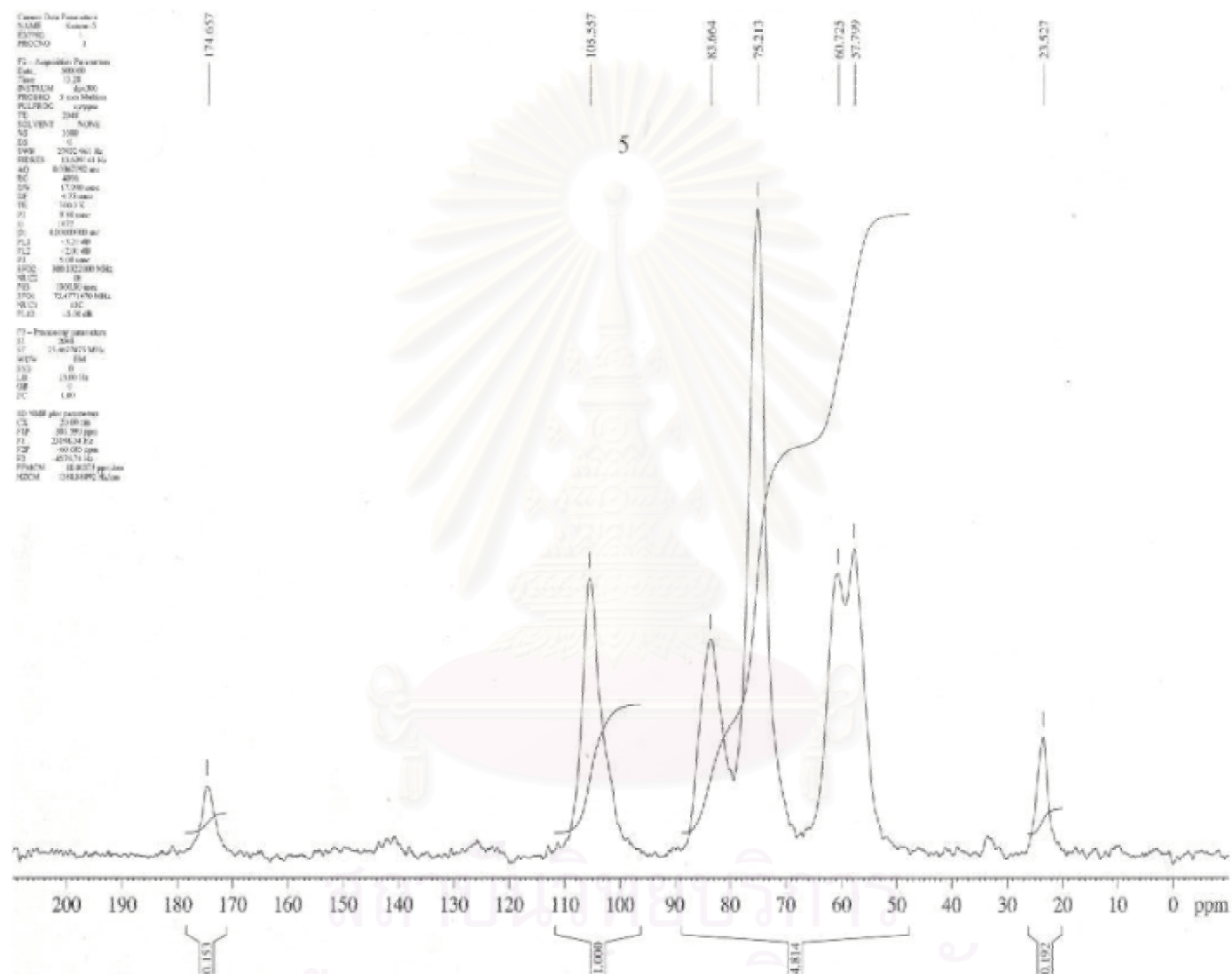
#### อุปกรณ์

Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR) ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

#### วิธีการทดลอง

วัด Degree of deacetylation โดยเครื่อง NMR จะได้ลักษณะของกราฟเป็น peak ออกมาดังรูปที่ ก.1 ซึ่งเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.6 พบว่าต่างกันที่ตำแหน่งของหมู่  $\text{CH}_3$  ซึ่งจากรูปที่ 2.6 ถือว่า Degree of deacetylation เป็น 100% ส่วน Degree of deacetylation ของตัวอย่างที่วัดได้มีค่าเป็น 84.4 ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟ ดังนี้

$$\text{Degree of deacetylation} = 100 - [ (0.156 \times 100) / (1) ] = 84.4$$



รูปที่ ก.1 การวิเคราะห์หา Degree of deacetylation โดยเครื่อง NMR



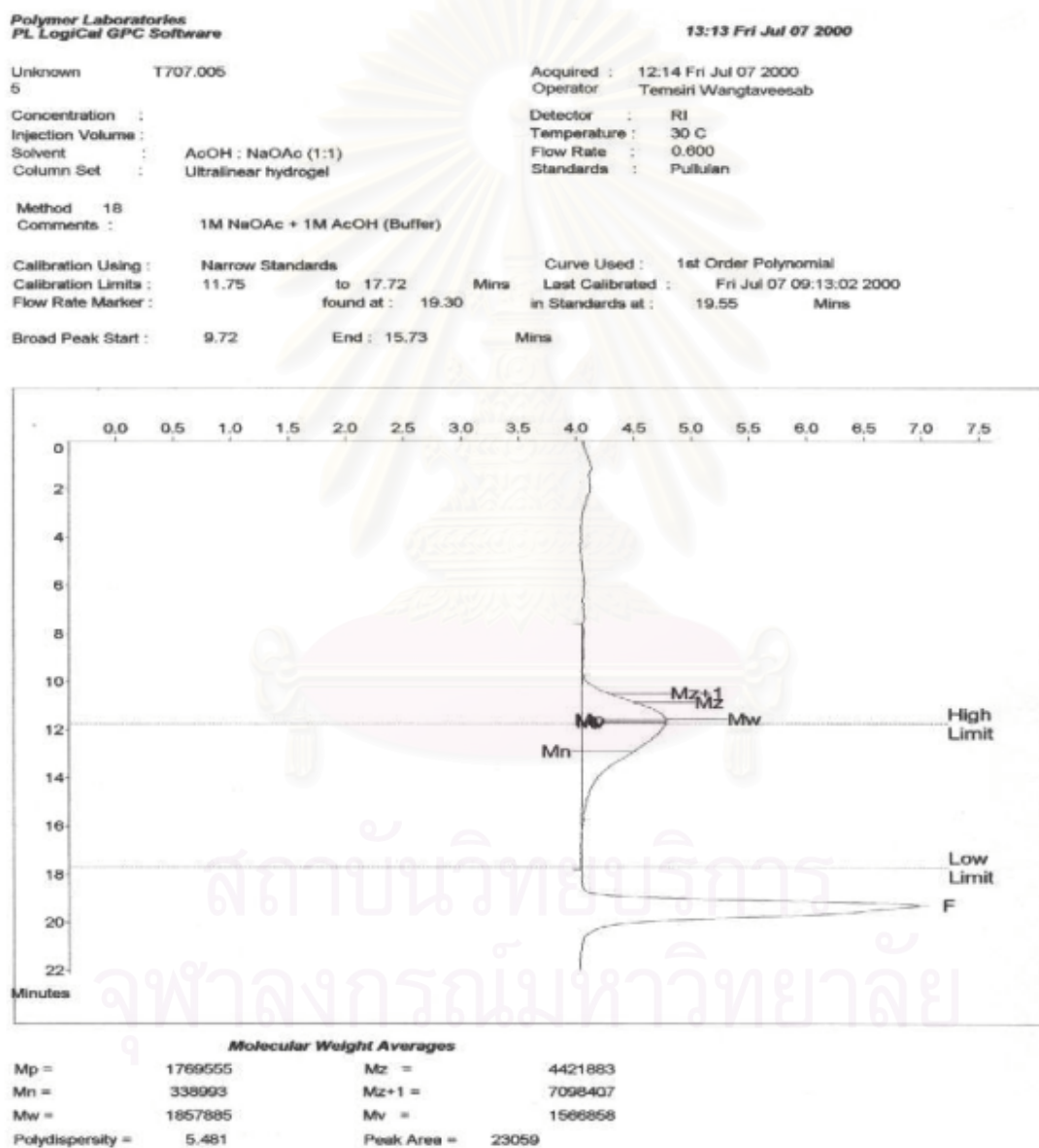
### ก.3 การหามวลโมเลกุล

#### อุปกรณ์

Gel permeation chromatography (GPC) ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

#### วิธีการทดลอง

ได้ผลแสดงดังรูป ก.2



รูปที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ค่ามวลโมเลกุลของไคโตแซนโดยเครื่อง GPC

ภาคผนวก ข.  
การออกแบบถังโปรยกรอง

Design Criteria: Hydraulic loading  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , Media depth 1 m

กำหนด: เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 0.5 m.

$$\begin{aligned} \text{คำนวณ} \quad \text{พื้นที่หน้าตัดถัง} &= \pi r^2 = \pi(0.5/2)^2 = 0.196 \text{ m}^2 \\ \text{อัตราการไหล} &= (1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}) \times (0.196 \text{ m}^2) = 0.196 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 136 \text{ cm}^3/\text{min} \end{aligned}$$

สรุปถังโปรยกรองมีอัตราการไหล  $136 \text{ cm}^3/\text{min}$ , ลึก 1 m, เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m แต่เพื่อลดจำนวนตัวกลาง โดยแบ่งครึ่งถังโปรยกรองโดยยังคงอัตราการไหลเท่ากับ  $136 \text{ cm}^3/\text{min}$  ดังนั้น Hydraulic loading ของหน่วยเท่ากับ  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล } 0.196 \text{ m}^3/\text{day}, \text{ พื้นที่หน้าตัดถัง } 0.196/2 \text{ m}^2 \\ \text{Hydraulic loading} &= (0.196 \text{ m}^3/\text{day})/(0.196/2 \text{ m}^2) \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ค.

#### กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา [22]

##### วัตถุประสงค์

โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยาตั้งขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนจากอาคารบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ ในพื้นที่บางส่วนของเขตสัมพันธวงศ์ เขตบางรัก และเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย โดยจะสามารถลด ปริมาณสารอินทรีย์ของ คลองผดุงเกษม และคลองมหานาค ซึ่งเชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นการ ลดมลพิษทางน้ำให้กับแม่น้ำเจ้าพระยาได้

##### รายละเอียดของโครงการ

โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยาสามารถบำบัดน้ำเสียครอบคลุมพื้นที่ 2.7 ตารางกิโลเมตร โดยมี จำนวนประชากรในพื้นที่ประมาณ 120,000 คน สามารถรองรับน้ำเสียได้ 30,000 ลูกบาศก์เมตรต่อ วัน มีพื้นที่ของโรงบำบัด 2000 ตารางเมตร ตั้งอยู่บริเวณปากคลองผดุงเกษม ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ คือ Contact stabilization ซึ่งมีค่าก่อสร้างคิดเป็นเงิน 464.4 ล้านบาท เริ่มทำการบำบัดน้ำเสียตั้งแต่ เดือนมกราคม 1994 จนถึงปัจจุบัน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

##### ระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ระบบรวบรวมน้ำเสีย เป็นแบบ Combined system ความสามารถในการรับน้ำ เสีย 3 DWF (Dry weather flow) โดยน้ำเสียชุมชนและน้ำฝนที่ไหลลงท่อระบายน้ำเดิม จะถูกดักด้วย บ่อดักน้ำเสียให้ไหลเข้าท่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัดต่อไป ระบบท่อรวบรวม น้ำเสียประกอบด้วย

- ท่อรวบรวมน้ำเสีย (Interceptor) ถนนกรุงเกษมความยาวประมาณ 2.275 กิโลเมตร
- ท่อรวบรวมน้ำเสีย (Interceptor) ถนนสีพระยาความยาวประมาณ 1.2 กิโลเมตร
- บ่อดักน้ำเสีย (Interceptor chamber) 81 บ่อ
- สถานีสูบน้ำ (Lift station) 1 แห่ง

2. โรงบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment plant) เนื่องจากพื้นที่ก่อสร้างมีขนาด

จำกัด จึงได้ออกแบบอาคารที่มีระบบบำบัดน้ำเสียวางซ้อนกัน 3 ชั้น ความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย 10,000 ลูกบาศก์เมตร/ชั้น/วัน รวม 30,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละชั้นมีหน่วยบำบัดน้ำเสียครบถ้วนตามกระบวนการ และเป็นอิสระแยกจากกัน การนำน้ำเสียไปบำบัดทำได้โดยการใช้เครื่องสูบน้ำทำการสูบน้ำจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย เพื่อนำไปบำบัดในแต่ละชั้น

### กระบวนการที่ใช้ในการบำบัด

กระบวนการบำบัดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological treatment) ตามกระบวนการแบบสัมผัสและย่อยสลาย (Contact stabilization process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ดัดแปลงมาจากกระบวนการตะกอนเร่ง สามารถแสดงด้วยแผนภาพ ดังรูปที่ ค.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

#### 1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment process) ประกอบด้วย

- เครื่องดักขยะขนาดใหญ่ (Automatic bar screen) ทำหน้าที่ดักขยะและของแข็งที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย

- เครื่องดักขยะชนิดละเอียด (Fine screen) ทำหน้าที่ดักขยะขนาดเล็ก

- บ่อปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization tank) ทำหน้าที่เก็บกักน้ำเสียและปรับสภาพน้ำเสียให้มีลักษณะเดียวกันทั่วทั้งถัง ภายในมีเครื่องกวนผสมน้ำเสียเพื่อกวนผสมน้ำเสีย

- บ่อดักกรวดทราย (Aerated grit chamber) ทำหน้าที่แยกกรวดทรายออกจากน้ำเสียเป็นการป้องกันไม่ให้เครื่องจักรในระบบเกิดการชำรุดเสียหาย โดยการใช้ Air lift pump แยกกรวดทรายออกไปทิ้ง

#### 2. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological process) ประกอบด้วย

- บ่อดั้มผัส (Contact tank) ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดดั้มผัส จับ หรือ ดูดซับสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านเข้ามาในบ่อ

- บ่อตกตะกอน (Clarifier tank) ทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอน เมื่อตะกอนจุลินทรีย์จับกับสารอินทรีย์ จะจมลงสู่ก้นถัง ภายในมีเครื่องกวาดตะกอน (Scraper) ซึ่งจะทำหน้าที่กวาดตะกอนให้มารวมอยู่ในกรวยก้นถัง น้ำใสส่วนบนจะไหลล้นและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

- บ่อสเปรย์น้ำ (Spray water tank) ทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใหม่คือ ใช้รดพองในถังเติมอากาศ และสูบส่งผ่านถังกรองทราย (Sand filter) เพื่อนำไปใช้ในชักโครก, โถปัสสาวะ, ล้างพื้นในโรงงานหรือรดน้ำต้นไม้

- บ่อย่อยสลาย (Stabilization tank) ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศแต่จุลินทรีย์ที่หมุนเวียนกลับมาในระบบ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์มีระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกในน้ำเสียจนหมด

### 3. กระบวนการกำจัดตะกอนส่วนเกิน

- ถังทำให้ตะกอนเข้มข้น (Sludge thickener tank) ทำหน้าที่เพิ่มความเข้มข้นของตะกอนโดยการใช้พอลิเมอร์ช่วยในการจับตัวกันของตะกอนได้เร็วขึ้น ตะกอนที่ได้จากถังนี้จะมีความเข้มข้นประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์

- ถังเก็บกักและย่อยตะกอน (Sludge storage tank) ทำหน้าที่เก็บกัก รวบรวมตะกอนส่วนเกินและเกิดการย่อยสลายของตะกอนบางส่วน โดยภายในถังมีการเติมอากาศป้องกันการเน่าเหม็นของตะกอน

- เครื่องรีดตะกอน (Dewatering machine) ทำหน้าที่รีดน้ำออกจากตะกอนโดยใช้พอลิเมอร์ช่วยในการจับกับตะกอนแยกออกจากน้ำ หลังจากผ่านการรีดแล้วมีค่า Solid content ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

#### 4. การฆ่าเชื้อโรค(Disinfection)

ประกอบด้วยบ่อเติมคลอรีน (Chlorine contact tank) ทำหน้าที่เป็นบ่อเติมคลอรีนเพื่อทำลายเชื้อโรค ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ คลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของ NaOCl ในอัตรา 4 ppm เพื่อให้มีคลอรีนตกค้างไม่เกิน 0.5-1 ppm.

#### ค.5 Design criteria

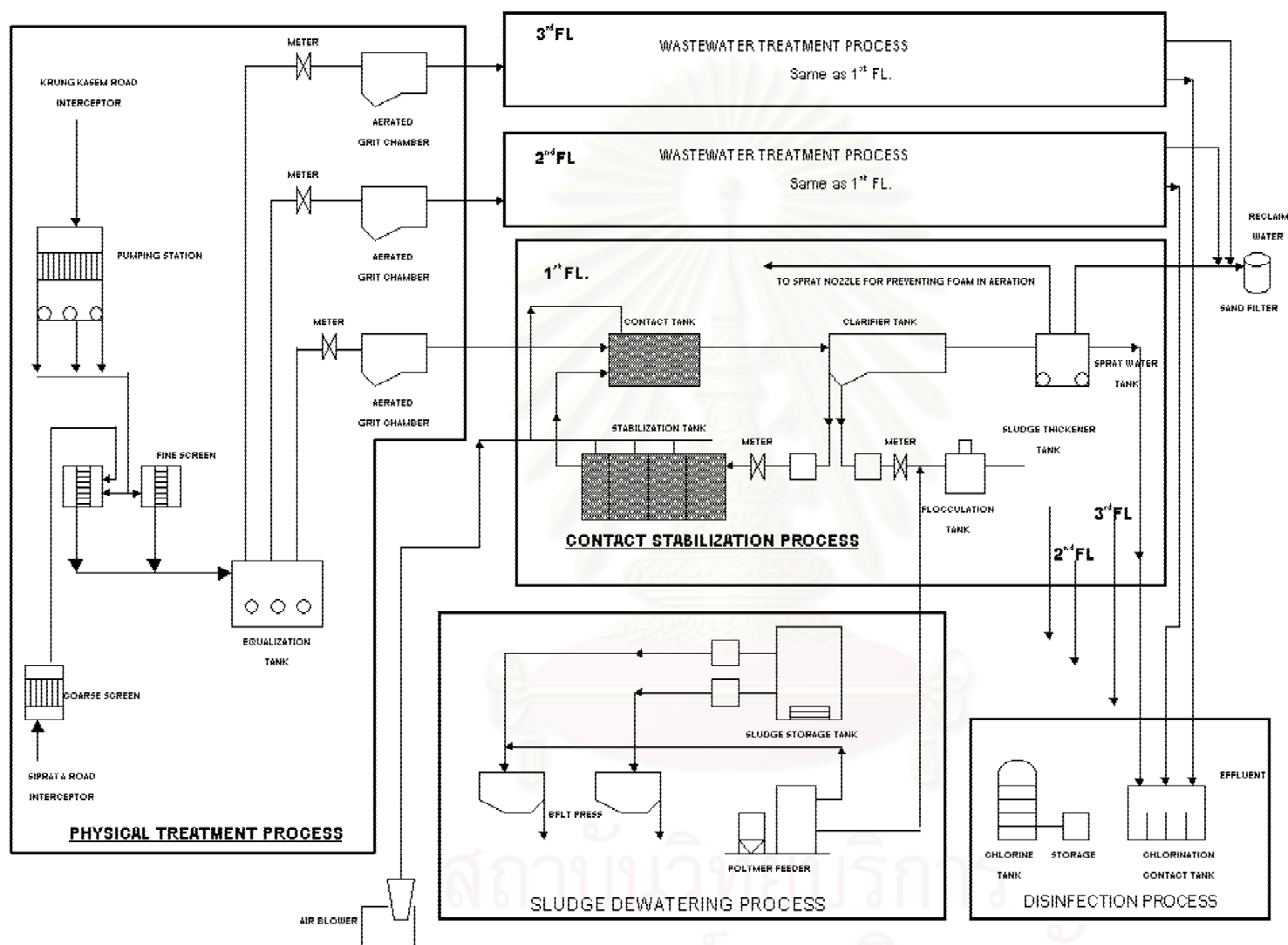
##### - ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ

น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีค่า BOD ประมาณ 150 มิลลิกรัม/ลิตร, Suspended Solid ประมาณ 100 มิลลิกรัม/ลิตร, pH อยู่ในช่วง 6.5-7.5 และมีอัตราการไหล 30,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน

##### - ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วได้ค่า BOD น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า Suspended solid น้อยกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร





รูปที่ ค.1 แผนภาพกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

**ภาคผนวก ง.**  
**การหาค่าคุณสมบัติของน้ำเสีย**

**ง.1 Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

อุปกรณ์

1. BOD bottle ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิท
2. Air incubator ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $20 \pm 1^{\circ}$  ซ และต้องมีดเพื่อป้องกันการเกิด DO จากสาหร่ายในตัวอย่าง
3. เครื่องเป่าอากาศ เพื่อเพิ่ม DO ในน้ำเจือจาง เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอตลอดระยะเวลา 5 วัน
4. เครื่องวัด DO YSI model 5000 115v และ YSI 5010 BOD Probe

น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่น ต้องมีคุณภาพสูงเพราะจะต้องใช้เตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง ควรมีทองแดงน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และปราศจาก คลอรีน คลอรามีน Caustic alkalinity สารอินทรีย์ และกรด
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์: ละลาย 8.5 กรัม  $K_2HPO_4$ , 21.75 กรัม  $K_2HPO_4$ , 33.4 กรัม  $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$  และ 1.7 กรัม  $NH_4Cl$  ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร pH ของสารละลายนี้ควรจะเป็นประมาณ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต: ละลาย 22.5 กรัม  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์: ละลาย 27.5 กรัม  $CaCl_2$  ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์: ละลาย 0.25 กรัม  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร

วิธีการหา

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

- ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร ใส่ในบีกเกอร์ที่สะอาด
- ปรับอุณหภูมิของน้ำให้เท่ากับ  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$
- เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้น้ำ อย่างน้อย  $\frac{1}{2}$  ชั่วโมง
- เติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมคลอไรด์ และเพอร์ริคคลอไรด์ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

## 2. การทำเจือจาง

- เปิดน้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ลงในขวด BOD 300 มิลลิลิตร
- เติมน้ำสำหรับเจือจางจนเต็มขวด โดยค่อยๆรินใส่ขวดอย่าให้มีฟองอากาศ
- นำตัวอย่างทั้งหมดไปวัดค่า DO ที่วันเริ่มต้น

## 3. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

เพาะเลี้ยงโดยเก็บตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมีอุณหภูมิ  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาวัดค่า DO ที่วันที่ 5

## 4. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมีความปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัม/ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางจึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

## 5. การคำนวณ

$$\text{mg/l BOD} = 100(D_1 - D_2) / P \quad (\text{ไม่เติมน้ำเชื้อ})$$

$D_1$  = DO ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วที่วันเริ่มต้น

$D_2$  = DO ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วเป็นเวลา 5 วัน

$P$  = เปอร์เซ็นต์ของ Sample ที่ใส่ =  $(S/300)100$

## ง.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

### อุปกรณ์

1. Reflux apparatus ประกอบด้วย flask ก้นกลม 250 มิลลิลิตร และ Condensor 500 มิลลิลิตร
2. Heating mantle หรือ Hot plate

### น้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล: ละลาย 12.259 กรัม  $K_2Cr_2O_7$  (อบให้แห้งที่  $103^{\circ}C$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
2. กรดกำมะถัน: เติม 22 กรัม  $Ag_2SO_4$  ลงใน  $H_2SO_4$  เข้มข้น 2.5 ลิตร ตั้งทิ้ง 1-2 วัน
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.1 นอร์มัล: ละลาย 39 กรัม  $Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$  ในน้ำกลั่น เติม 20 มิลลิลิตร  $H_2SO_4$  เข้มข้นลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

### วิธีการหา

1. เติมน้ำตัวอย่างลงไป 20 มิลลิลิตร (หรือน้อยกว่าแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 20 มิลลิลิตร)
2. ชั่ง  $HgSO_4$  ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงใน Flask
3. เติมสารละลาย  $HgSO_4$  ซึ่งผสม  $AgSO_4$  ลงไปเรียบร้อยแล้ว 2 มิลลิลิตร เขย่าในน้ำเย็น
4. เติม 10 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐาน  $K_2Cr_2O_7$
5. ต้อ Flask เข้ากับชุดกลั่น แล้วเติมสารละลาย  $H_2SO_4 + AgSO_4$  28 มิลลิลิตร ทางด้านบนของชุดกลั่น
6. รีฟลักซ์ประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น
7. เติมน้ำกลั่นลงไป 60 มิลลิลิตร ทิเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS ใช้ Ferrouin เป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีเขียว ไปเป็นสีน้ำตาลแดง
8. ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

ในบางกรณีอาจต้องใช้ขนาดตัวอย่างมาก หรือน้อยกว่า 20 มิลลิลิตร ดังนั้น จึงต้องเปลี่ยนน้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนดังแสดงในตาราง ง.1

ตารางที่ ง.1 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ

Sample Size (ml)	0.25N Standard Dichromate(ml)	Conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + AgSO <sub>4</sub> (ml)	HgSO <sub>4</sub> (g)	Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (N)	Final volume before titration (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

#### การคำนวณ

$$\text{mg/l COD} = (a-b) \times N \times 8000 / \text{ml sample}$$

- a คือ มิลลิลิตรของ Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ที่ใช้ในการทิตเรต blank  
 b คือ มิลลิลิตรของ Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ที่ใช้ในการทิตเรต ตัวอย่าง  
 N คือ นอร์มัลลิตีของ Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

### ง.3 Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

#### เครื่องมือ

1. Digestion apparatus ประกอบด้วย Kjeldahl flask ขนาด 750-800 มิลลิลิตร มี heating device สำหรับให้ความร้อน
2. Distillation apparatus ประกอบด้วย Kjeldahl flask มีกระเปาะข้างบน และ Condensor ในแนวตั้ง

#### น้ำยาเคมี

1. Digestion reagent: ละลาย K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 134 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 200 มิลลิลิตร เติมพร้อมกับคนสารละลายของ HgO (red) 2 กรัมใน

กรด  $H_2SO_4$  2 นอร์มัล 25 มิลลิลิตร ทำให้สารละลายที่ได้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตร 1 ลิตร เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า  $14^{\circ}C$  เพื่อป้องกันการตกผลึก

2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
3. NaOH- $Na_2S_2O_3$  reagent: ละลาย NaOH 500 กรัม และ  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  25 กรัม ใน น้ำกลั่นและทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
4. Mixed indicator solution: ละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ 200 มิลลิกรัม ใน 95% เอทานอล 100 มิลลิลิตร และละลายเมทิลลีนบลูใน 95% เอทานอล 50 มิลลิลิตร รวมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน เตรียมใช้แต่ละเดือน
5. Indicating boric acid solution: ละลายกรดบอริก 20 กรัม ในน้ำกลั่น เติมน้ำ Mixed indicator solution 10 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. Standard sulfuric acid titrant 0.02 N

#### วิธีการหา

1. การเลือกปริมาตรตัวอย่าง เลือกปริมาตรของตัวอย่างที่จะใช้จากตารางข้างล่างนี้ แล้วใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 750 มิลลิลิตร ถ้าจำเป็นให้ทำการเจือจางตัวอย่างที่ใช้น้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร

ตาราง ง.2 สัดส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในตัวอย่างกับปริมาณตัวอย่างที่ใช้

Org-N in sample (mg/l)	Sample size (ml)
0 – 1	500
1 – 10	250
10 – 20	100
20 – 50	50
50 - 100	25

2. Digestion ปล่อยให้เหลือในขวดกลั่นให้เย็น เติมน้ำ Digestion reagent 50 มิลลิลิตร ถ้าตัวอย่างมีอินทรีย์สารไนโตรเจนมากให้เติมน้ำ Digestion reagent เพิ่ม 50 มิลลิลิตร



ต่อกรัมของสารที่เป็นของแข็งในตัวอย่าง ผสมให้เข้ากัน แล้วเข้าเครื่อง Digest ซึ่งอยู่ในตู้ควัน ต้มจนกระทั่งได้สารละลายใส ให้ Digest ต่ออีก 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่นลงไป 300 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม NaOH-Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ลงไป ใช้ 50 มิลลิลิตร ต่อ Digestion reagent 50 มิลลิลิตร ที่ใช้ นำไปใส่ในเครื่องกลั่นเขย่าสารให้เข้ากัน

3. การกลั่น: กลั่นและเก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มิลลิลิตร ภายใต้ผิวของกรดบอริค 50 มิลลิลิตร
4. ทิเทรตหาค่าแอมโมเนียในส่วนที่กลั่นออกมาด้วย 0.02 นอร์มัล H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน
5. ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่นและทำทุกขั้นตอนเหมือนใช้ตัวอย่าง

#### การคำนวณ

$$\text{mg / l TKN} = (A - B) \times 280 / \text{ml sample}$$

A คือ มิลลิลิตร H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่ใช้ในการทิเทรตตัวอย่าง

B คือ มิลลิลิตร H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่ใช้ในการทิเทรต blank

#### ง.4 Total Phosphate-phosphorus (T-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

##### อุปกรณ์

1. Spectrophotometer พร้อมด้วย Infrared phototube
2. Digestion apparatus

##### น้ำยาเคมี

1. สารละลายกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 นอร์มัล: เติม H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้ว เติมน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร
2. แอนติโมนีโปตัสเซียมทาทเรท: ละลาย 1.3715 กรัม K(SbO)C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.1/2H<sub>2</sub>O ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้ว
3. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต: ละลาย 20 กรัม (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดพลาสติกที่ 4<sup>๐</sup>ซ

4. Ascorbic acid 0.1M: ละลาย 1.76 กรัม ascorbic acid ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะอยู่ตัวประมาณ 1 อาทิตย์ ถ้าเก็บไว้ที่ 4°C
5. Combined reagent: ผสมน้ำยาเคมีข้างบนในสัดส่วนสำหรับ 100 มิลลิลิตร น้ำยารวมดังนี้ 50 มิลลิลิตร H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N, 5 มิลลิลิตร แอนติโมนีโบดิสเซียมทาเทรท, 15 มิลลิลิตร แอมโมเนียมโมลิบเดต และ 30 มิลลิลิตร ascorbic acid ตั้งน้ำยาเคมีเหล่านี้ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องจึงจะผสมกัน
6. Stock phosphate solution: ชั่ง Anhydrous KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร คิดเป็นสัดส่วนของสารละลายต่อปริมาณฟอสฟอรัสได้ดังนี้ 1 ml Stock phosphate solution = 50 µg P
7. Standard phosphate solution: ผสม Stock phosphate solution 50 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร จะได้ว่า

$$1 \text{ ml Standard phosphate solution} = 2.5 \text{ µg P}$$

#### วิธีการหา

1. เติมตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ใน Kjeldahl flask
2. เติม H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 1 มิลลิลิตร + HNO<sub>3</sub> เข้มข้น 5 มิลลิลิตร ใส่ Glass beads 4-5 เม็ด
3. นำไป Digest จนปริมาตรน้ำตัวอย่างเหลือประมาณ 1 มิลลิลิตร Digest ต่อจนสารละลายใส ปล่อยให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง
4. เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด
5. หยด 1 M NaOH จนสารละลายมีสีชมพูอ่อน
6. ถ้าสารละลายขุ่นให้กรองก่อน จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
7. ปิเปตตัวอย่างที่เตรียมได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ใน Flask ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นหยด 5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี
8. เติม Combined reagent 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม นำไปวัดค่า Absorption ที่ 880 nm. โดยเครื่อง Spectrophotometer
9. ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่น วิธีการเหมือนตัวอย่างทุกประการ

### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. เตรียม Standard phosphate solution ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ใน Flask ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติม Combined reagent 8 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที
3. นำไปวัดค่า Absorption ที่ 880 nm. เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัสกับค่าการ Absorption

### การคำนวณ

$$\text{mg/l P} = \text{mg P (from graph)} \times 1000 / \text{ml sample}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.  
ถังโปรยกรอง

จ.1 ข้อมูลดิบของแต่ละการทดลอง

ตาราง จ.1 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 0.8 เมตร ครั้งที่ 1

	No.	BOD			COD		TKN		TP			
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	6.7	3.08	54.3	25.7	23.65	82	0.5	8.55	9.02	0.808	12.5
In	2	6.7	3.47	48.45	25.7	23.55	86	0.5	10.0	10.7	0.821	12.7
Average				51.4			84			9.86		12.6
Out	1	6.7	5.05	24.75	25.7	24.8	36	0.5	7.2	7.48	0.840	13.0
Out	2	6.7	5.00	25.5	25.7	24.8	36	0.5	6.2	6.40	0.646	10.0
Average				25.1			36			6.94		11.5

ตาราง จ.2 ข้อมูลดิบของการทดลองถังโปรยกรองแบบธรรมดา ที่ความสูง 0.8 เมตร ครั้งที่ 2

	No.	BOD			COD		TKN		TP			
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	9.07	6.37	40.5	25.4	22.4	120	0.5	8.5	8.96	0.774	11.9
In	2	9.07	6.49	38.7	25.4	22.4	120	-	-	-	-	-
Average				39.6			120			8.96		11.9
Out	1	9.07	7.44	20.1	25.4	24.0	56	0.5	5.8	5.94	0.706	10.9
Out	2	9.07	7.44	20.1	25.4	24.1	52	-	-	-	-	-
Average				20.1			54			5.94		10.9

ตาราง ๑.3 ข้อมูลดิบของการทดลองถังปฏิกิริยาแบบธรรมดา ที่ความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	8.2	3.88	64.8	25.9	21.9	136	0.1	11.2	12.4	0.672	10.4
In	2	8.2	4.20	60.0	25.9	21.9	136	0.1	12.1	13.4	0.802	12.4
Average				62.4			136			12.9		11.4
Out	1	8.35	6.12	33.75	26	24.2	72	0.1	9.1	10.08	0.646	10.0
Out	2	8.40	6.12	34.2	26	24.3	68	0.1	9.0	9.97	0.647	10.2
Average				34.0			70			10.0		10.1

ตาราง ๑.4 ข้อมูลดิบของการทดลองถังปฏิกิริยาแบบธรรมดา ที่ความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	9.08	7.56	22.8	25.4	23.3	84	0.5	6.5	6.72	0.854	13.2
In	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average				22.8			84			6.72		13.2
Out	1	9.12	8.45	10.05	25.4	24.6	32	0.5	3.7	3.58	0.812	12.56
Out	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average				10.05			32			3.58		12.56

ตาราง ๑.5 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร  
ครั้งที่ 1

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	8.29	6.97	19.8	25.9	23.95	78	0.5	11.65	12.5	0.730	11.3
In	2	8.29	6.65	24.6	25.9	23.95	74	0.5	9.3	9.9	0.562	8.7
Average				22.2			76			11.2		10.0
Out	1	8.28	7.87	6.2	25.8	25.1	28	0.5	6.9	7.2	0.601	9.3
Out	2	8.28	7.93	5.2	25.8	25.1	28	-	-	-	0.601	9.3
Average				5.7			28			7.2		9.3

ตาราง ๑.6 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร  
ครั้งที่ 2

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	7.49	4.82	40	26.4	23.4	120	2.7	6.3	4.03	0.653	10.1
In	2	7.49	5.33	32.4	26.4	23.6	112	2.7	8.4	6.38	0.715	11.06
Average				36.2			116			5.2		10.58
Out	1	7.68	6.60	16.2	26.4	25.35	42	2.7	4.25	1.75	0.627	9.7
Out	2	7.68	6.41	19.0	26.4	25.45	38	2.7	4.5	2.05	0.640	9.9
Average				17.6			40			1.9		9.8



ตาราง จ.7 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.1 เมตร  
ครั้งที่ 3

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	9.27	6.45	42.3	25.4	23.0	96	0.3	9.0	9.74	0.706	10.9
In	2	-	-	-	25.4	23.0	96	-	-	-	-	-
Average				42.3			96			9.74		10.9
Out	1	9.32	8.24	16.2	25.4	24.6	32	0.3	5.2	5.48	0.510	7.88
Out	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average				16.2			32			5.84		7.88

ตาราง จ.8 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบรวมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร  
ครั้งที่ 1

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	8.10	7.48	18.75	25.9	23.9	80	0.5	10.9	11.6	0.827	12.8
In	2	8.10	7.53	17.25	25.9	23.9	80	0.5	11.8	12.6	0.840	13.0
Average				18			80			12.1		12.9
Out	1	8.08	7.94	4.2	26.1	25.2	32	0.5	9.5	10.08	0.639	9.88
Out	2	8.10	7.96	4.2	26.1	25.2	32	0.5	9.7	10.3	0.667	10.32
Average				4.2			32			10.1		10.1

ตาราง จ.9 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร  
ครั้งที่ 2

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	8.77	6.0	41.55	26.2	24	88	3.3	15.0	13.1	0.892	13.8
In	2	8.75	6.18	38.55	26.2	24	88	3.3	12.85	10.7	0.892	13.8
Average				40.0			88			11.9		13.8
Out	1	8.78	7.10	25.2	26.5	25.75	30	3.3	9.85	7.35	0.879	13.6
Out	2	8.84	6.85	26.8	26.3	25.85	26	3.3	7.95	5.19	0.595	9.2
Average				26.0			28			6.27		11.4

ตาราง จ.10 ข้อมูลดิบของการทดลองระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ที่ความสูง 0.8:0.2 เมตร  
ครั้งที่ 3

	No.	BOD			COD			TKN		TP		
		DO 0 day [mg/l]	DO 5 day [mg/l]	BOD [mg/l]	Std. FAS (ml)		COD [mg/l]	0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)		TKN [mg/l]	Abs.	TP [mg/l]
					BK	S		BK	S			
In	1	10.85	8.05	42	25.7	24.2	60	0.8	8.9	9.1	0.695	10.7
In	2	10.85	7.95	43.7	25.7	24.2	60	-	-	-	-	-
Average				42.85			60			9.1		10.7
Out	1	10.85	9.63	18.3	25.7	25.3	16	0.8	5.3	5.04	0.511	7.9
Out	2	10.85	9.77	16.2	25.7	25.3	16	-	-	-	-	-
Average				17.25			16			5.04		7.9

## ๑.2 ข้อมูลหา Stability ของโคโคแซนในแต่ละ batch

ตาราง ๑.11 แสดงข้อมูลของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ของช่วงวันเริ่มต้น - วันที่ 4

Parameter (mg/l)	In	Out (day)							Efficiency (%)
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	
BOD	42.85	-	-	-	-	-	-	17.25	60
COD	60	28	20	32	16	16	20 <sup>a</sup>	16	73 <sup>b</sup>
TKN	9.1	-	-	-	-	-	-	5.04	44.6
TP	10.7	-	-	-	-	-	-	7.9	26.1

<sup>a</sup> ไม่นำมาคำนวณประสิทธิภาพ

<sup>b</sup> คำนวณจากค่าเฉลี่ยน้ำเสียออกตั้งแต่วันที่ 2-4

ตาราง ๑.12 แสดงข้อมูลของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ของช่วงวันที่ 5 - วันที่ 8

Parameter (mg/l)	In	Out(day)				Efficiency (%)
		5.5	6	7	8	
BOD	71.7	-	-	-	32.4	54.8
COD	164	32	48	44	76 <sup>a</sup>	74.8 <sup>b</sup>
TKN	14.34	-	-	-	6.94	51.6
TP	11.07	-	-	-	8.72	21.2

<sup>a</sup> ไม่นำมาคำนวณประสิทธิภาพ

<sup>b</sup> คำนวณจากค่าเฉลี่ยของน้ำเสียออกตั้งแต่วันที่ 6-7

ตาราง จ.13 แสดงข้อมูลของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรอง ของช่วงวันที่ 9 – วันที่ 12

Parameter (mg/l)	In	Out(day)				Efficiency (%)
		9.5	10	11	12	
BOD	14.25	-	-	-	6.45	54.7
COD	84	44	36	40	48	50 <sup>a</sup>
TKN	8.06	-	-	-	4.48	44.4
TP	11.7	-	-	-	10.27	12.2

<sup>a</sup> คำนวนจากค่าเฉลี่ยของน้ำเสียออกตั้งแต่วันที่ 9-12

ตาราง จ.14 แสดงข้อมูลของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังไปรยกรอง ของช่วงวันที่ 13 – วันที่ 16

Parameter (mg/l)	In	Out (day)			Efficiency (%)
		14	15	16	
BOD	26.1	-	-	21.75	16
COD	84	68	76	76	9.5 <sup>a</sup>
TKN	8.2	-	-	2.24	72.6
TP	12.6	-	-	11.6	7.9

<sup>a</sup> คำนวนจากค่าเฉลี่ยของน้ำเสียออกตั้งแต่วันที่ 15-16

ตาราง จ.15 แสดงข้อมูลของระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง ของช่วงวันที่ 17 – วันที่ 20

Parameter (mg/l)	In	Out (day)			Efficiency (%)
		18	19	20	
BOD	23.7	-	-	12.45	47
COD	80	60	64	56	25 <sup>a</sup>
TKN	7.5	-	-	3.25	56.7
TP	11.9	-	-	10.8	9.24

<sup>a</sup> คำนวณจากค่าเฉลี่ยของน้ำเสียออกตั้งแต่วันที่ 18-20

## ประวัติผู้เขียน

นายันทชัย ศรีนภางค์ เกิดวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย