บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนติดตั้งแบบจมตัว(Submerged Membrane Bioreactor : SMBR) ร่วมกับคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยติดตามประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดสารอินทรีย์ อนุภาคแขวนลอย ความขุ่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และศึกษารูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย

ชุดการทดลองทั้งหมดติดตั้งและดำเนินการบริเวณระบบบำบัดน้ำเสียศูนย์การค้ามาบุญครอง และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีแผนการวิจัยดังนี้

การทดลองแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว (Submerged Membrane Bioreactor : SMBR) ในสภาวะการเติมอากาศเป็นช่วงๆ (Intermittent aeration)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยระบบ SMBR ร่วมกับคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 1

1. ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนของ Mitsubishi Rayon (รูปที่ 2.9) มีรายละเอียดดังนี้

- ชื่อทางการค้า 'sterapore L'(Ultramicrofiltration for high concentrated solution of suspended solids) Model : UMF 424 SLI Pore size 0.1μm พื้นที่ผิวการกรอง 4 ตร.ม.
- วัสดุเมมเบรนเป็นชนิด Polyethylene Hollow Fiber Membrane (Hydrophillic)
- ข้อต่อท่อทางดูดของปั๊มเป็นชนิดเกลียว ขนาด 4 หุน
- อุณหภูมิทำงานปกติต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส

2. Module Unit เป็นชุดโครงท่อพีวีซีประกอบด้วยสองส่วนคือ

- ส่วนท่อจับยึดเมมเบรนปลายท่อต่อกับปั๊มทางดูดเพื่อสูบน้ำกรองผ่านเมมเบรน
- ส่วนท่อเติมอากาศและเติมอากาศความเร็วสูง ซึ่งปลายท่อต่อกับระบบลมอัดและปั๊มเติมอากาศ ทั้งสองส่วนยึดกับชุดโครงเหล็กฉากซึ่งติดตั้งเหนือถังปฏิกรณ์

I21051938

3. ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ขนาด 200 ลิตร พร้อมขาเหล็กรองก้นถัง

4. ถังพัก-จ่ายน้ำเสีย ขนาด 200 ลิตร พร้อมขาเหล็กรองก้นถัง

5. ถังเก็บน้ำบำบัดแล้ว ขนาด 200 ลิตร

6. เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (Centrifugal pump) 2 เครื่อง เพื่อสูบน้ำเสียและหมุนเวียนน้ำเสีย และเครื่องสูบน้ำปรับรอบ (Peristatic pump) 1 เครื่องเพื่อดูดน้ำกรองผ่านเมมเบรน

7. ชุดเครื่องเติมอากาศ ได้แก่ Air compressor และ Air pump

8. ท่อและอุปกรณ์ท่อพีวีซี สายยาง หัวฉีดน้ำ

9. วาล์วมือ 4 ตัว โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว และวาล์วลูกลอย 1 ชุด

10. อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ

- เครื่องวัดอัตราการไหลน้ำ และอากาศอย่างละ 1 ตัว
- มาตรวัดความดัน (Pressure guage) 1 ตัว

11. Control panel สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ

12.แกลลอนพลาสติกเก็บน้ำตัวอย่างจากที่ตั้งชุดทดลองมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 2

1. คอลัมน์ใช้บรรจุทรายตัวกลาง ทำจากอะครีลิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ซม. สูง 80 ซม.

2. ท่อและอุปกรณ์ท่อ

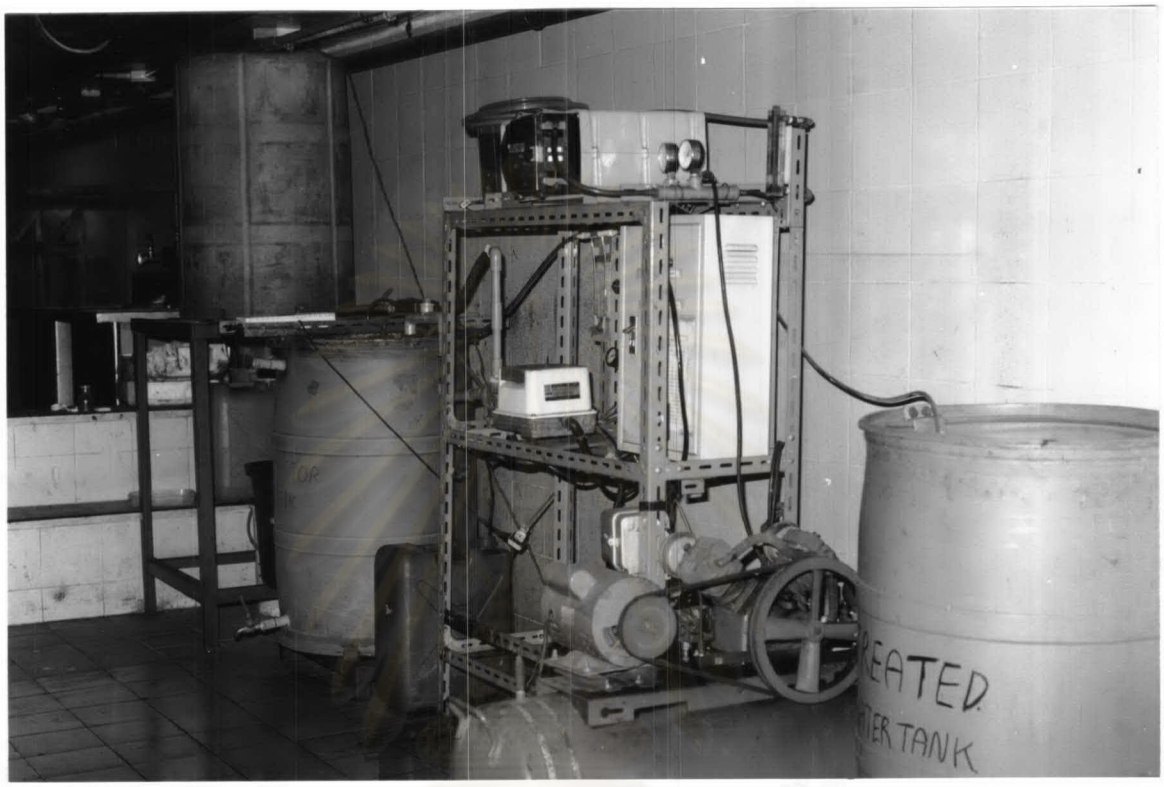
3.2.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ใช้น้ำเสียจริงจากอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นต้น (Dissolve Air Floatation)แล้ว การป้อนน้ำเสียเข้าระบบกระทำโดยสูบน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียของอาคารมาเก็บในถังจ่ายน้ำของชุดทดลอง แล้วจ่ายเข้าชุดทดลองอย่างต่อเนื่องซึ่งควบคุมด้วยวาล์วลูกลอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ส่วนประกอบและการควบคุมการทำงานของระบบ SMBR

ระบบ Submerged Membrane Bioreactor (SMBR) ปริมาตรทำงานของถังปฏิกรณ์ 150 ลิตร แสดงดังภาพที่ 3.1 และมีรายละเอียดการทำงานดังนี้



ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองระบบ SMBR ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ระบบจ่ายน้ำเข้าและนำน้ำออกจากถังปฏิกรณ์

- ระบบจ่ายน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ใช้เฮดความสูงของระดับน้ำจากถังจ่ายน้ำเสีย ควบคุมการจ่ายน้ำด้วยวาล์วลูกลอย เมื่อระดับน้ำในถังปฏิกรณ์ลดลงน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อัตโนมัติ

-น้ำที่บำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์โดยการดูดกรองผ่านเมมเบรนด้วยปั๊มดูดเป็นช่วงๆ (Intermittent suction operation)มีรอบเวลาการทำงาน 10/10 นาที (เดิน/หยุด) ควบคุมจังหวะการทำงานด้วย Timer

- ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ และมาตรวัดความดันแตกต่างที่ท่อทางส่งและระหว่างตัวเรือนปั๊มตามลำดับ

- ติดตั้งวาล์วควบคุมน้ำด้วยมือที่ท่อทางจ่ายของถังจ่ายน้ำ (ป้องกันความผิดพลาดของวาล์วลูกลอย) และที่ท่อระบายตะกอนสะสมในถังจ่ายน้ำ และที่ระดับต่ำสุดของถังปฏิกรณ์

3.3.2 การทำงานของถังปฏิกรณ์

- Module Unit ติดตั้งจมตัวในถังปฏิกรณ์ ประกอบด้วยไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ระบบท่อเติมอากาศและเติมอากาศความเร็วสูงอยู่ในชุดเดียวกัน ซึ่งสามารถถอดแยกเมมเบรนออกจากชุดเติมอากาศได้

-ระบบเติมอากาศและเติมอากาศความเร็วสูง ปรับรูปแบบการเติมอากาศโดยใช้โซลินอยด์วาล์ว และ Pressure regulator ควบคุมการทำงานด้วย Timer หน่วงเวลา

- รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆเพื่อสร้างสภาวะ aerobic/anoxic ซึ่งจะมีช่วงเวลาเท่ากันสามารถปรับตั้งได้ด้วย Timer

- ระบบสูบน้ำหมุนเวียนภายใน โดยปั๊มน้ำจากภายในถังปฏิกรณ์ไปตามระบบท่อที่ก้นถังผ่านหัวฉีดน้ำกลับเข้าสู่ใต้ Module Unit เพื่อสร้างกระแสไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรน ควบคุมไม่ให้ปั่นป่วนจนเกิดการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศในช่วงหยุดเติมอากาศ (anoxic)

- ท่อระบายสลัดจ์ออก อยู่ที่ระดับต่ำสุดของถัง ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วมือ

รูปแบบการทำงานของระบบ SMBR และรายละเอียดต่างๆภายในถังปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทำงานของระบบ SMBR

Operation mode	Aerobic period	Anoxic period
Intermittent aeration	Jet aeraiton/Aeration	Circulation pump

หมายเหตุ : Jet aeration ทำงานในช่วงเวลา 1-5 นาทีแรกของทุกๆรอบการเติมอากาศ

3.4 ตัวแปรในการทดลอง

3.4.1 ตัวแปรอิสระ ตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาในการทดลองขั้นตอนที่ 1 ได้แก่

1. รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ (intermittent aeration) สองค่าคือ 120/120 นาที (เติมอากาศ 120 นาที/หยุดเติม 120 นาที) และ 150/150 นาที

2. ค่าอายุตะกอน คือไม่จำกัดค่าอายุตะกอน และรักษาค่าอายุตะกอน 50 วัน

ตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาในการทดลองขั้นตอนที่ 2 คืออัตราการกรองที่แปรเปลี่ยนสำหรับคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กำหนดไว้สองค่าคือ 0.39 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และ 0.58 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม

3.4.2 ตัวแปรคงที่ คือตัวแปรที่ต้องการให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ได้แก่

1. ค่าเวลากักเก็บ 20 ชม.

2. รอบเวลาการทำงานของปั๊มดูด 10/10 นาที (เดิน/หยุด)

3. ค่าความดันแตกต่างของปั๊มดูด ที่เพิ่มขึ้นจากค่าความดันแตกต่างที่สภาวะคงตัวเริ่มต้นไม่เกินกว่า 30 kPa

4. อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนภายในระบบ (ช่วง Anoxic)

3.4.3 ตัวแปรตาม

การทดลองนี้ตัวแปรตามเป็นค่าที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอิสระ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส ซีโอดี ทีเคเอ็น ไนไตรท์ ไนเตรต ฟอสฟอรัส โออาร์พี ออกซิเจนละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย และความขุ่น เป็นต้น

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.5.1 <u>การทดลองขั้นตอนที่ 1</u> ทดลองสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบ SMBR โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบ และผลของค่าอายุตะกอนต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยการปรับรอบเวลาการเติมอากาศและค่าอายุตะกอน

3.5.1.1 ขั้นตอนเริ่มการทำงานของระบบ

เนื่องจากระบบนี้ได้ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากระบบเดิมซึ่งบำบัดน้ำเสียจากอาคารเรียนวิศวกรรมศาสตร์ด้วยสภาวะการเติมอากาศเป็นช่วงๆ (Intermittent aeration) พบว่าค่าเวลากักเริ่มต้น 16 ชม. มีผลต่อความคงตัวของค่าความดันส่งผ่านมาก จึงกำหนดค่าเวลากักเริ่มต้นในการทดลองนี้เท่ากับ 20 ชม. และจากการเดินระบบด้วยการเติมอากาศเป็นช่วงๆด้วยรอบเวลา 90 นาที และ 120 นาทีพบว่าที่รอบเวลา 120 นาทีเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสูงกว่าและมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนดีกว่า (อริยะ เตกษณานนท์, 2543) จึงเลือกรอบเวลา 120 นาทีในการเริ่มเดินระบบในการทดลองนี้ การทดลองใช้เชื้อจุลินทรีย์ในระบบเดิมเพื่อเริ่มการทำงานของระบบ โดยค่า MLSS เริ่มต้นอยู่ในช่วง 3,000 มก./ล.จ่ายน้ำเสียเข้าระบบจากถังจ่ายน้ำเสีย ปรับระดับท่อและวาล์วลูกลอยตามปริมาตรทำงานที่ออกแบบและเดินระบบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง

3.5.1.2 ขั้นตอนการดำเนินทดลอง

<u>การทดลองที่ 1-2</u>

- กำหนดเวลากักเริ่มต้น (HRT) 20 ชม. โดยปรับอัตราการไหลของน้ำออกเท่ากับ 180 ลิตร/วัน อัตราการซึมผ่านเมมเบรนเมื่อปั๊มดูดทำงาน 10 นาทีหยุด 10 นาทีเท่ากับ 0.0625 $l/m^2.min$

- กำหนดให้ระบบทำงานด้วยรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วง(Intermittent aeration)เท่ากับ 120 นาที คือเติมอากาศ 120 นาที (Aerobic) และหยุดเติมอากาศ 120 นาที (Anoxic) โดยไม่ควบคุมอายุตะกอน

- วิเคราะห์ตัวแปรและตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเดินระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวดำเนินการทดลองตั้งแต่ต้นโดยแปรค่ารอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆเท่ากับ 150นาที เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและการกำจัดไนโตรเจนของระบบ

การทดลองที่ 3

- กำหนดเวลากักเริ่มต้น (HRT) 20 ชม. โดยปรับอัตราการไหลของน้ำออกเท่ากับ 180 ลิตร/วัน อัตราการซึมผ่านเมมเบรนเท่ากับ 0.0625 l/m^2.min

- กำหนดให้ระบบทำงานด้วยรอบเวลาที่เหมาะสม ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนดีที่สุดจากการทดลองที่ 1-2

- ควบคุมอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน โดยทิ้งสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ในช่วงแอโรบิกปริมาตร 3 ลิตร/วัน เพื่อศึกษาผลของค่าอายุตะกอนต่อประสิทธิภาพของระบบ วิเคราะห์ตัวแปร และตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ และเดินระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการทดลองระบบ SMBR

Experimental No.	HRT (hr)	Intermittent aeration period (min)	SRT (day)
Run 1	20	120/120	-
Run 2	20	150/150	-
Run 3	20	เลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมจาก Run 1 และ Run 2	50

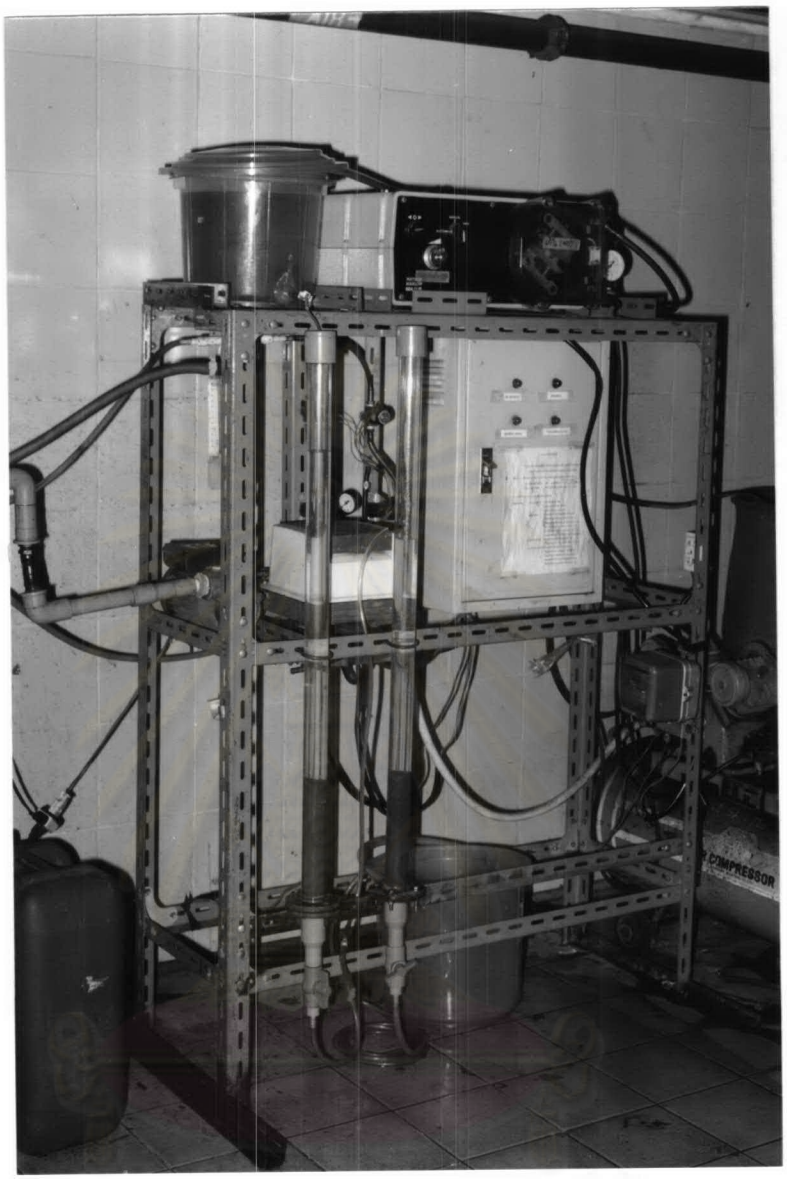
เมื่อความดันแตกต่างทำงานของปั๊มดูดมีค่ามากกว่าเมื่อเริ่มต้นเกินกว่า 30 kPa จะหยุดการทำงานของปั๊มดูดและถอดชุดเมมเบรนไปล้างทำความสะอาด

3.5.2 การทดลองขั้นตอนที่ 2 การทดลองการทำงานของระบบ SMBR ร่วมกับคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เพื่อศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัส โดยศึกษาการทำงานของคอลัมน์ต่อเนื่องและดำเนินการทดลองร่วมกับระบบ SMBR ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นตอนที่ 1 ลำดับการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3 โดยแต่ละการทดลองมีระยะเวลา 30 วัน

3.5.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

- เริ่มการทดลองโดยป้อนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบ SMBR เข้าสู่คอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราการไหล 0.39 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

- เก็บน้ำออกจากคอลัมน์เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเมื่อดำเนินการทดลองครบ 30 วัน ปรับอัตราการไหลเข้าเป็น 0.58 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. รวมทั้งสิ้น 2 การทดลอง ชุดทดลองแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดลอง SMBR ร่วมกับคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการทดลองคอลัมน์ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

Experimental No.	Filtration rate ($m^3/m^2.d$)	Height of iron oxide – coated sand bed (cm.)	Running time (days)
Run 4	0.39	40	30
Run 5	0.58	40	30

3.5.2.2 การเตรียมตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

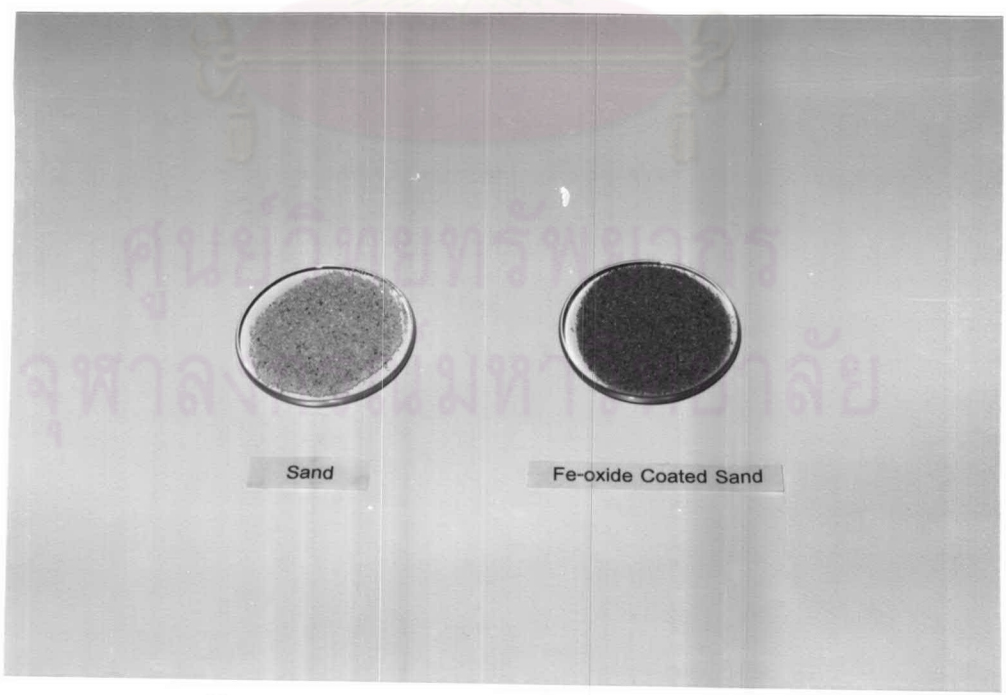
การวิจัยนี้ใช้ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (ตามวิธีการของ Edward และ Benjamin,1989) โดยทรายที่ใช้มีขนาดระหว่างตะแกรงเบอร์ 20และ30 (0.60-0.84 มม.)

การทำความสะอาดก่อนการเคลือบทราย

- แช่เม็ดทรายด้วยกรดซัลฟุริก พีเอช ประมาณ 1.0 ทิ้งไว้ 24 ชม.
- ล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด แล้วนำใส่ถาดสเตนเลสเข้าเตาอบอุณหภูมิ 105 °C
- เก็บเม็ดทรายที่อบแห้งแล้วใส่ภาชนะที่แห้งและปิดมิดชิดก่อนนำไปใช้ต่อไป

ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- ชั่งทราย 200 ก. เฟอริกไนเตรต 20 ก. และน้ำกลั่น 50 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่
- เขย่าช้าๆจนกระทั่งเฟอริกไนเตรตละลายปนกับทราย จากนั้นเทส่วนผสมใส่ในถาดสเตนเลสนำเข้าเตาอบแห้งอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 20 ชม. จะได้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
- ล้างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างสะอาด แล้วนำทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ล้างสะอาดแล้วเข้าเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชม.



ภาพที่ 3.3 ลักษณะทรายก่อนและหลังเคลือบเหล็กออกไซด์

3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ตำแหน่ง ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่ง	ความถี่	วิธีวิเคราะห์
Eff flow rate	Eff	ทุกวัน	Flow meter
Different pressure	suction line	ทุกวัน	Pressure Gauge
Temperature	Inf / Reac	ทุกวัน	Thermometer
pH	Inf / Reac / Eff	ทุกวัน	pH Meter
DO	Reac	ทุกวัน	DO Meter
Turbidity	Inf / Eff	จ/พ/ศ	Hack Turbidity Meter
COD	Inf / Eff	จ/พ/ศ	Dicromate Close Reflux
SS	Inf / Eff	จ/พ/ศ	Gravimetric Method
MLSS, MLVSS	Reac	จ/พ/ศ	Gravimetric Method
TKN	Inf / Reac / Eff	จ/พ/ศ	Macro-Kjeldahl Method
NO_2^--N	Inf / Reac / Eff	จ/พ/ศ	Colorimetric Method
NO_3^--N	Inf / Reac / Eff	จ/พ/ศ	Ultraviolet Spectophotometer
TP	Inf / Eff / Eff*	จ/พ/ศ	Colorimetric Method
Fecal coliform	Eff	ตามสมควร	MPN Method

หมายเหตุ - Inf = influent sampling point to SMBR

- Rea = Reactor sampling point SMBR
- Eff = Effluent sampling point from SMBR
- Eff* = Effluent sampling point from iron oxide – coated sand column

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย