


การศึกษาระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์สำหรับเพิ่มศักยภาพ
ในการนำน้ำเสียจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

Study of Activated Carbon-Microfiltration (AC-MF) System for
Enhancing Reuse Potential of Wastewater from
Huachiew Chalermprakiet University

The seal of Huachiew Chalermprakiet University is a large, faint watermark in the background. It is circular and contains the university's name in Thai, English, and Chinese characters, along with a central emblem.

เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์
วารางคณา วิเศษมณี ธี

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
ปีการศึกษา 2552

ชื่อเรื่อง	การศึกษาระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์สำหรับเพิ่มศักยภาพในการนำน้ำเสียจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
ผู้วิจัย	เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และ วรางคณา วิเศษมณี ธี
สถาบัน	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
ปีที่พิมพ์	2558
สถานที่พิมพ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
แหล่งที่เก็บรายงานฉบับสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
จำนวนหน้างานวิจัย	70 หน้า
คำสำคัญ	ถ่านกัมมันต์ เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน การนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
ลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์สำหรับเพิ่มศักยภาพในการนำน้ำเสียจาก มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มุ่งศึกษาให้ทราบประสิทธิภาพของระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ และศักยภาพในการนำน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดของมหาวิทยาลัย และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์กลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารซิน โสภณพณิช

จากผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของอาคารซิน โสภณพณิช มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และไม่มีความเป็นพิษ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์ แต่ควรดำเนินการฆ่าเชื้อโรคก่อนนำกลับไปใช้

จากผลการทดลองนำเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำพบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารอินทรีย์แขวนลอยได้ดี น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสามารถนำกลับไปใช้ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์

การประยุกต์ใช้ระบบไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ไม่ช่วยกำจัดสารอินทรีย์ แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ในกรณีเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 g/L พบว่า ต้องใช้เวลาเก็บกักตั้งแต่ 2 และ 1

ชั่วโมงขึ้นไป ตามลำดับ จึงสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีค่า BOD ต่ำกว่า 10 mg/L ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ การเพิ่มต้นทุนแหล่งน้ำดิบ และการเก็บกักเพื่อพักผ่อนหย่อนใจได้

กลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยที่ในระยะแรกเป็นการแบบอุดตัน Complete pore blocking ซึ่งการเติมถ่านกัมมันต์จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการอุดตัน (Organic foulant) จึงช่วยชะลอการอุดตันในระยะแรก ส่วนในระยะยาวเป็นการอุดตันแบบ Cake filtration ซึ่งการเติมถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะทำให้เกิดการอุดตันแบบ Cake filtration ได้เร็วกว่า



Research Title	Study of Activated Carbon-Microfiltration (AC-MF) System for Enhancing Reuse Potential of Wastewater from Huachiew Chalermprakiet University
Researchers	Thirdpong Srisukphun and Varangkana Visermanee Le
Institution	Huachiew Chalermprakiet University
Year of Publication	2015
Publisher	Huachiew Chalermprakiet University
Sources	Huachiew Chalermprakiet University
No. of Pages	70 pages
Keywords	Activated Carbon, Microfiltration membrane, Wastewater reuse
Copyright	Huachiew Chalermprakiet University

ABSTRACT

This research is focusing on study of the post treatment efficiency of activated carbon-microfiltration (AC-MF) system treating the treated wastewater from Chin Sophonpanich Building. In addition, the reuse potential of the treated wastewater and post treated wastewater from Chin Sophonpanich Building was evaluated. The treated wastewater from Chin Sophonpanich Building was collected and examined in the laboratory.

It was found that the treated wastewater meet the effluent standard and lack of toxicity. Hence, the treated wastewater could be used for a land scape development and an increase in natural water resource. However, disinfection system was required prio to utilization.

The experimental results of MF treating the treated wastewater showed that MF gave low inorganic removal efficiency but performed high removal efficiency in turbidity and suspended organic matter. The post treated wastewater could be directly used for the land scape development and the increase in natural water resource.

The results of post treatment by AC-MF system showed that AC could not improve inorganic removal efficiency but increased removal efficiency of soluble organic matter. In the case where AC was added 0.5 and 1.0 g/L, the hydraulic retention time of 2 and 1 hour were required for removal of organic matter in terms of BOD lower than 10 mg/L. The post treated wastewater was appropriate for activity with human contact, an increase in raw water resource and storage for recreation activity.

The fouling mechanism of MF membrane consisted of 2 stages, i.e., short term and long term fouling. In the case of short term fouling, MF membrane was fouled by complete pore blocking mechanism. The addition of AC lowered organic foulant hence the membrane fouling was decreased. In the case of long term fouling, MF membrane was fouled by cake filtration mechanism. The increase in AC promoted membrane fouling.



กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับทุนอุดหนุนจาก คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ประจำปีการศึกษา 2552 รวมถึงคณะกรรมการวิจัยและตำรา คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นในการปรับปรุงโครงงานวิจัย

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจียมไชยศรี ที่ได้ให้คำชี้แนะ แนวคิดที่เป็นประโยชน์ และให้แนวทางในการแก้ไขปัญหา ทั้งในด้านการทำงาน การทำวิจัย รวมถึงการดำรงชีวิต ตลอดจนทั้งเป็นกำลังใจให้ในช่วงเวลาที่ผ่านมามากกว่า 10 ปี

ขอขอบคุณ คุณนันทวัน หมั่นเดช เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม รวมถึงนางสาวอำไพรัตน์ จันทร์อิม นางสาวเดือนเพ็ญ นามวิจิตร นางสาวกฤษณา วงษ์สมุทร และนางสาวดวงแข สีกุลา นักศึกษาสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การวิจัยสำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญให้งานทุกอย่างของคณะผู้วิจัยสำเร็จ ลุล่วงด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์	4
2.2 เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	4
2.3 ถ่านกัมมันต์	4
2.4 ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวฯ	5
2.5 Adsorption modeling	6
2.6 การอุดตันของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	7
2.7 การล้างเยื่อกรอง	9
2.8 รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ AC-MF	9
2.9 การทดสอบทางพิษวิทยา	12
2.10 มาตรฐานการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	18
3.1 ลักษณะของการวิจัย	18
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	18
3.3 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง	18
3.4 ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF)	20
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย	25
4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่ผ่านการบำบัด	25
4.2 ความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด	26
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (MF)	28
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับ MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	29
4.5 การอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	32
4.6 การศึกษาความเป็นพิษของน้ำก่อนและหลังการบำบัด	34
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	36
5.1 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด	36
5.2 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (MF)	37
5.3 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์	43
5.4 กลไกการอุดตันบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	49
5.5 สรุปผลการศึกษา	56
5.6 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	63
ก. รายการคำนวณระบบ AC-MF	64
ข. วิธีการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์	66
ค. ประวัติย่อผู้วิจัย	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	5
2-2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	5
2-3 สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์เมื่อเกิดการอุดตัน	8
2-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2-5 ค่ามาตรฐานการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่	17
3-1 อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่าง	21
3-2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	24
4-1 ค่าลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดของอาคารชิน โสภณพณิช	26
4-2 จำนวนโคโลนีที่ revertant จากการทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำในเชื้อ <i>S. typhimurium</i> สายพันธุ์ TA98 และ TA100	27
4-3 ค่าเฉลี่ยของโคโลนี revertant จากการทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำในเชื้อ <i>S. typhimurium</i> สายพันธุ์ TA98 และ TA100	27
4-4 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น	28
4-5 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น	29
4-6 ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วย AC-MF เมื่อเติม AC ความเข้มข้น 0.5 g/L	30
4-7 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่นร่วมกับถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L	30
4-8 ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วย AC-MF เมื่อเติม AC ความเข้มข้น 1.0 g/L	31
4-9 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่นร่วมกับถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L	31
4-10 แสดงอัตราการไหล และ แรงดันที่ใช้ในการกรอง	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 แนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการจัดการน้ำเสียโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่	3
2-1 ตัวอย่างการคำนวณค่า EC ₅₀	13
2-2 Endpoint in evaluation of carcinogenicity	15
2-3 หลักการทดสอบด้วยวิธีการ Ames test	16
3-1 ระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารซิน โสภณพนิช	19
3-2 ชุดทดลอง AC-MF	20
4-1 อัตราการไหลของน้ำบริสุทธิ์ (Pure water flow rate) และ TMP ของ MF ก่อนใช้งาน	32
4-2 แสดงปริมาณเมล็ดข้าวที่งอก	34
4-3 แสดงความยาวของรากในการเพาะเมล็ดข้าว	35
5-1 ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	38
5-2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	38
5-3 ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	39
5-4 ค่าซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	40
5-5 ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	40
5-6 สัดส่วนของสารอินทรีย์แขวนลอยและสารอินทรีย์ละลายในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด	41
5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity และ BOD	42
5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณจากสมการ 5-1	43
5-9 ค่า pH ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 และ 1.0 g/L of reactor	44
5-10 Electro-conductivity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor	44
5-11 Electro-conductivity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-12 Turbidity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor	45
5-13 Turbidity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor	46
5-14 ค่า BOD ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่ เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor	47
5-15 ค่า BOD ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่ เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor	47
5-16 การคาดการณ์ค่า BOD ของน้ำผ่านการบำบัด (ใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor)	48
5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณจากสมการ 5-4	49
5-18 การเปลี่ยนแปลงของ Foulant resistance (R_F)	51
5-19 การอุดตันแบบ Complete pore blocking บน MF	54
5-20 การอุดตันแบบ Cake filtration บน MF	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติมีบุคลากรทางการศึกษาและนักศึกษารวมจำนวนมาก มีน้ำเสียเกิดขึ้นสูงถึง 267 ลบ.ม./วัน (อรดี มีแก้ว และคณะ. 2549) น้ำเสียเหล่านี้ได้ถูกบำบัดโดยระบบบำบัดตามอาคารต่าง ๆ ได้แก่ ถังเกรอะ ถังกรองไร้อากาศ และถังดักไขมัน (รังสรรค์ ตาลข่อย และคณะ. 2550) ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งหากสามารถหมุนเวียนน้ำทิ้งบางส่วนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายของมหาวิทยาลัยและภาระของเสียที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำได้อย่างมาก อีกทั้งยังเป็นการเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับมหาวิทยาลัย เป็นแบบอย่างที่ดีแก่สังคม

กระบวนการบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment) สำหรับการผลิตน้ำสะอาดเพื่อนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในปัจจุบันมีหลายเทคโนโลยี เช่น เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Micro-filtration, MF) เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-filtration, UF) ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น (Metcaft and Eddy. 2003) ซึ่งกระบวนการเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon-Microfiltration, AC-MF) เป็นระบบหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำสะอาดสำหรับอุปโภค บริโภค และการใช้ซ้ำในหลาย ๆ วัตถุประสงค์ เช่น หอหล่อเย็น (Cooling Tower) หม้อไอน้ำ (Boiler) และน้ำล้างทำความสะอาดต่าง ๆ (Kim et. al. 2000)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพ และวิธีการเดินระบบที่เหมาะสมสำหรับการนำระบบ AC-MF มาใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ รวมถึงการศึกษาศักยภาพในการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยพิจารณาทั้งในด้านคุณภาพ (Quality) และความเป็นพิษ (Toxicity)

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ AC-MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
- 2) เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดของมหาวิทยาลัย และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ AC-MF กลับไปใช้ประโยชน์ใหม่

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พื้นที่ศึกษาได้แก่ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
- 2) ประชากรในการศึกษาได้แก่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบติดกับที่ชนิดถังกรองไร้อากาศของอาคารซิน โสภณพนิช
- 3) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและวิธีในการเดินระบบที่เหมาะสมของระบบ AC-MF และ ส่วนที่ 2 การศึกษาคุณภาพ ความสะอาด และความเป็นพิษของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่จะนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยทั้ง 2 ส่วน เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการสาขานาามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
- 4) ศักยภาพในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จะพิจารณาในด้านคุณภาพ ความสะอาด และความเป็นพิษ

1.4. นิยามศัพท์เฉพาะ

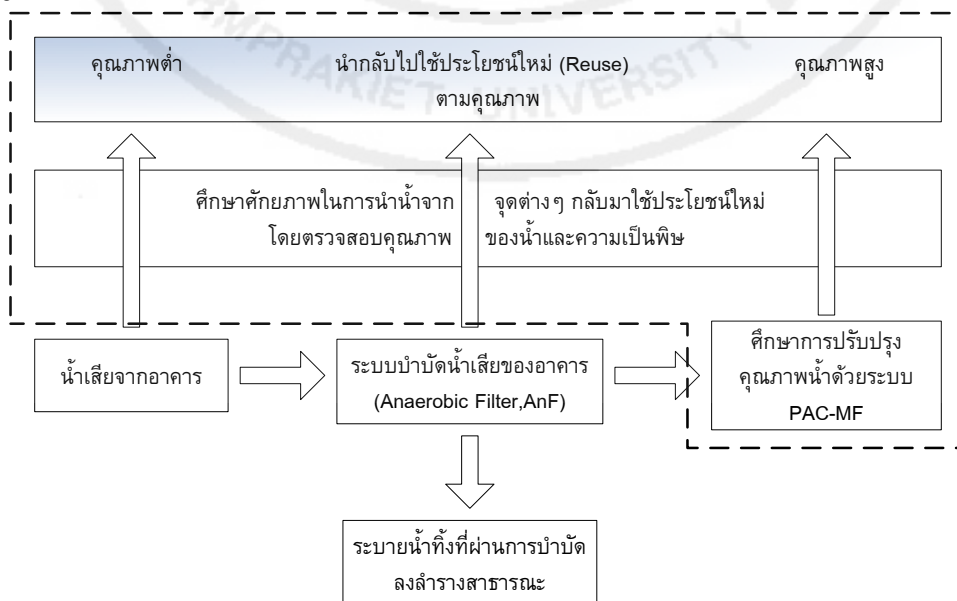
- 1) ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon-Microfiltration, AC-MF) หมายถึงหน่วยบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกลไกการบำบัดทางกายภาพร่วมกับทางเคมี (Physico-chemical Treatment) ที่ใช้เยื่อกรองที่มีรูพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-10 ไมครอน (Winston Ho and Sirkar. 1992) ร่วมกับถ่านกัมมันต์ชนิดผง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสารแขวนลอย ความขุ่น และสารปนเปื้อนในรูปของสารละลายออกจากน้ำ
- 2) น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมภายในอาคารของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
- 3) น้ำทิ้ง (Effluent or Treated Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ชนิดถังกรองไร้อากาศของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงประสิทธิภาพและวิธีการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับระบบ AC-MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
- 2) ทราบถึงศักยภาพในการนำน้ำเสีย น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดของมหาวิทยาลัย และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ AC-MF กลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ เมื่อพิจารณาในด้านคุณภาพ ความสะอาด และความเป็นพิษ
- 3) ได้แนวทางเบื้องต้นในการนำน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

1.6. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในปัจจุบันการจัดการน้ำเสียของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ (On-site Wastewater Treatment) ชนิดบ่อกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากแต่ละอาคารแล้วระบายลงสู่ลำรางสาธารณะ (รังสรรค์ ตาลช้อย และคณะ . 2550) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดที่จะศึกษาศักยภาพในการนำน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ตามความเหมาะสม (พิจารณาจากคุณภาพและความเป็นพิษของน้ำ) รวมถึงศึกษาการใช้ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF) สำหรับเพิ่มคุณภาพของน้ำทิ้งๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในระดับที่สูงขึ้น แนวคิดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับลดการปล่อยมลพิษจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย ซึ่งแนวคิดในการวิจัยแสดงในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 แนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการจัดการน้ำเสียโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1. ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์

ระบบ AC-MF เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสำหรับการกำจัดสารที่ปนเปื้อนจากแม่น้ำ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว เช่น สารอินทรีย์ที่เป็นพิษ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่และการผลิตน้ำประปา (Suzuki et al. 1998; Kim et al. 2009; Ujang et al. 2002; Adham et al. 1991; Lebeau et al. 1998; Pirbazari et al. 1992) ในการบำบัดด้วยระบบ AC-MF ต้องอาศัยกลไกการบำบัดทางกายภาพร่วมกับกลไกทางเคมี (Physico-chemical Mechanism) และบางครั้งพบกลไกทางชีวภาพ (Biological Mechanism) ร่วมด้วย

ลักษณะของระบบ AC-MF เป็นถังปฏิกรณ์ภายในบรรจุเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันและถ่านกัมมันต์บริเวณก้นถังปฏิกรณ์ ทำการติดตั้งหัวกระจายอากาศ (Air diffuser) ทำหน้าที่จ่ายฟองอากาศเพื่อทำความสะอาดผิวเยื่อกรองไม่ให้อุดตัน ในการเดินระบบใช้เครื่องสูบน้ำดูดน้ำใสออกจากถังปฏิกรณ์ผ่านเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

2.2. เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

รูปแบบในการกรองของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ Dead-end Filtration และแบบ Cross-flow Filtration (Winston and Sirkar. 1992)

2.3. ถ่านกัมมันต์

ส่วนถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) และ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) ซึ่งการใช้งานของ GAC จะลักษณะคล้ายถังกรองทรายแบบไหลเร็วหรือแบบใช้ความดัน โดยมีน้ำเสียไหลจากด้านบนผ่านชั้น GAC ลงสู่ด้านล่าง ส่วน PAC นิยมนำมาใช้ในระบบบำบัดทางชีวภาพเช่นใส่ในถังเติมอากาศ หรือใส่ในถังปฏิกรณ์ถ่านกัมมันต์ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547)

2.4. ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของมหาวิทยาลัยหัวเฉียว

อรดี มีแก้ว และคณะ (2549) รายงานว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของทั้ง 13 อาคาร มีปริมาณรวมทั้งสิ้นประมาณ 267 m³/d มีลักษณะสมบัติเฉลี่ย ได้แก่ พีเอช 7.5 ของแข็งแขวนลอย 19.5 mg/L ของแข็งละลายน้ำ 446 mg/L ของแข็งทั้งหมด 466 mg/L บีโอดีเฉลี่ย 55 mg/L ซัลไฟด์ 2.1 mg/L และทีเคเอ็น 26.5 mg/L

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

อาคาร	ปริมาณน้ำเสีย (m ³ /d)
1. อำนวยการ	17.98
2. อาคารเรียนรวม	41.96
3. อาคารซ่อมบำรุง	9.23
4. อาคารโภชนาการ	12.08
5. หอพักอาจารย์	9.95
6. อาคารบรรณาสาร	7.98
7. อาคารเฉลิมพระเกียรติ	10.16
8. หอประชุม	0.8
9. อาคารชิน โสภณพนิช	21.06
10. หอพักนักศึกษาหญิง	66.98
11. หอพักนักศึกษาชาย	42.33
12. อาคารตังจิว	10.07
13. อาคารอนุประสงค์	16.49
รวมทั้งสิ้น	267.07

ที่มา: อรดี มีแก้ว และคณะ (2549)

ตารางที่ 2-2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

พารามิเตอร์	หน่วย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	-	7.2 - 7.5	7.5	0.14
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	9.2-35.0	19.5	8.7
ของแข็งละลายน้ำ	mg/L	357 - 540	446	65
ของแข็งทั้งหมด	mg/L	375 - 567	466	65
บีโอดี	mg/L	32 - 74	55	14
ซัลไฟด์	mg/L	1.2 - 2.93	2.1	0.5
ทีเคเอ็น	mg/L	7.8 - 57.7	26.5	20.3

ที่มา: ปรับปรุงจาก อรดี มีแก้ว และคณะ (2549)

2.5. Adsorption modeling

2.5.1. Langmuir Isotherm

Langmuir Isotherm แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) และปริมาณสารดูดซับ (Adsorbent) เมื่อควบคุมอุณหภูมิคงที่ โดยมีสมมติฐานว่า สารดูดซับ มีพื้นผิวเรียบและมีความสามารถในการดูดซับสม่ำเสมอ ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ และเกิดการดูดซับของสารชนิดเดียวเพียงชั้นเดียวบนตัวกลาง (Masel. 1996) ดังแสดงในสมการที่ 2-1 และ 2-2

$$\frac{(C_0 - C_e)V}{M} = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad 2-1$$

$$\frac{M}{(C_0 - C_e)V} = \frac{1}{b} + \left(\frac{1}{Q_0 b} \cdot \frac{1}{C_0} \right) \quad 2-2$$

เมื่อกำหนดให้ C_0 และ C_e หมายถึง ความเข้มข้นของ adsorbate ในสารละลายที่จุดเริ่มต้นและที่สภาวะสมดุลตามลำดับ (mg/L), Q_0 และ b หมายถึง ค่าคงที่ของ Langmuir Isotherm มีหน่วยเป็น mg/g และ L/mg ตามลำดับ, V หมายถึง ปริมาตรของสารละลาย (L), M หมายถึง มวลของถ่านกัมมันต์ (g) (Nandi et al. 2009; Eckenfelder. 1989)

2.5.2. Freundlich Isotherm

Freundlich Isotherm เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดการดูดซับหลายชั้นบนสารดูดซับที่มีความขรุขระ เมื่อควบคุมอุณหภูมิคงที่ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับและปริมาณสารตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับดังสมการที่ 2-3

$$q_e = K C_e^n \quad 2-3$$

เมื่อกำหนดให้ K [$\text{mg/g (L/g)}^{1/n}$] หมายถึง ค่าคงที่ของ Freundlich Isotherm ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ (Bonding energy) และ n หมายถึง ค่าปรับแก้ความไม่สม่ำเสมอ (Heterogeneity factor) (Purkait et al. 2004)

2.5.3 Adsorption ในระบบ AC-MF

ในระบบ AC-MF พบว่า adsorbate จะถูกดูดซับทั้งบนถ่านกัมมันต์และบนเยื่อกรอง ซึ่ง Lee et al. (2009) เสนอความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ adsorbate ในถังปฏิกรณ์และบน

ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสมดุลดังแสดงในสมการที่ 2-4 และเสนอความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ adsorbate ในถังปฏิกรณ์และบนเยื่อกรอง ณ สภาวะสมดุลดังแสดงในสมการที่ 2-5

$$q_{e,AC_{bulk}} = \frac{1}{KC_{bulk}^{1/n}} \cdot \left(\frac{m_{e,AC_{bulk}}}{m_{AC_{bulk}}} \right) \quad 2-4$$

$$q_{e,AC_{membrane}} = \frac{1}{K((C_{bulk} + C_{permeate})/2)^{1/n}} \cdot \left(\frac{m_{e,AC_{membrane}}}{m_{AC_{membrane}}} \right) \quad 2-5$$

เมื่อกำหนดให้ $q_{e,AC_{bulk}}$ หมายถึง saturation degree ของ adsorbate ที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลาย (bulk solution) $q_{e,AC_{membrane}}$ หมายถึง saturation degree ของ adsorbate ที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ต่อมวลของถ่านกัมมันต์ที่เกาะอยู่บนเยื่อกรอง, $m_{e,AC_{bulk}}$ และ $m_{e,AC_{membrane}}$ หมายถึง มวลของ adsorbate ที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลาย และบนถ่านกัมมันต์ที่ถูกดูดซับอยู่บนเยื่อกรองตามลำดับ (สมการที่ 2-6 และ 2-7), $m_{AC_{bulk}}$ และ $m_{AC_{membrane}}$ หมายถึง มวลของถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายและที่เกาะบนเยื่อกรองตามลำดับ โดยที่ความสัมพันธ์ของ $m_{AC_{membrane}}$ สามารถหาได้จากผลต่างของมวลของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ ($m_{AC_{total}}$) กับ $m_{AC_{bulk}}$ ดังแสดงในสมการที่ 2-8 (Lee et al. 2009)

$$\frac{dm_{e,AC_{bulk}}}{dt} = C_{e,feed}JA - \frac{dC_{e,bulk}}{dt}V_{bulk} - C_{e,bulk}JA - \frac{dm_{AC_{membrane}}}{dt} \cdot \left(\frac{m_{e,AC_{bulk}}}{m_{AC_{bulk}}} \right) \quad 2-6$$

$$\frac{dm_{e,AC_{membrane}}}{dt} = C_{e,bulk}JA - C_{e,permeate}JA + \frac{dm_{AC_{membrane}}}{dt} \cdot \left(\frac{m_{e,AC_{bulk}}}{m_{AC_{bulk}}} \right) \quad 2-7$$

$$m_{AC_m} = m_{AC_t} - m_{AC_b} = m_{AC_t} - (m_{AC_b} \cdot V_b) \quad 2-8$$

2.6. การอุดตันของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

2.6.1 Resistance in series model

Resistance in series model (สมการที่ 2-9 และ 2-10) เป็นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่กรองได้กับแรงต้านการซึมผ่านของเยื่อกรอง (membrane resistance) โดยที่การลดลงของความสามารถในการซึมผ่านเกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงต้าน

เนื่องจากการอุดตัน (foulant resistant, R_F) ซึ่ง R_F เป็นแรงต้านที่เพิ่มขึ้นจากแรงต้านปกติของเยื่อกรอง (resistance due to membrane itself, R_M) ประกอบขึ้นจากแรงต้านเนื่องจากการดูดติดผิว (adsorption resistance, R_A) แรงต้านเนื่องจากการอุดตันรูพรุน (pore blocking resistance, R_P) แรงต้านเนื่องจากการเกิดชั้นเค้ก (cake filtration resistance, R_C) และแรงต้านเนื่องจากการปรากฏการณ์ concentration polarization (concentration polarization resistance, R_{CP}) (Srisukphun et al. 2006) ในกรณีของ MF ค่า R_{CP} จะมีค่าต่ำมากจนสามารถตัดทิ้งได้

$$J = \frac{\Delta P}{\eta(R_M + R_A + R_{CP} + R_P + R_C)} \quad 2-9$$

$$J = \frac{\Delta P}{\eta(R_M + R_F)} \quad 2-10$$

2.6.2 Flux decline during membrane filtration

Purkait *et al.* (2005) ได้เสนอว่า Flux decline ได้รับอิทธิพลจากประเภทกลไกในการอุดตันได้แก่ การอุดตันบนรูพรุนอย่างสมบูรณ์ (complete pore blocking), Standard pore blocking, Intermediate pore blocking, และ Cake filtration ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์เมื่อเกิดการอุดตัน

กลไกการอุดตัน	สมการ
1. การอุดตันบนรูพรุนอย่างสมบูรณ์ (Complete pore blocking)	$v_w(t) = v_w^0 \exp(-kt)$
2. การอุดตันบนรูพรุน (Standard pore blocking)	$\frac{1}{(v_w)^{1/2}} = c + dt$ $c = \frac{1}{(v_w^0)^{1/2}}$ $d = \frac{B}{(v_w^0)^{1/2}}$
3. การอุดตันในรูพรุน (Intermediate pore blocking)	$v_w(t) = \frac{Q_0}{A_r} \frac{1}{(1 + k_i t)}$
4. การเกิดชั้นเค้ก (Cake filtration)	$\frac{1}{v_w^2} = \frac{1}{v_w^0^2} + k_c t$ $k_c = \frac{2\mu\alpha c_b}{\Delta P}$

ที่มา : Purkait et al. (2005)

2.7. การล้างเยื่อกรอง

เมื่อเยื่อกรองเกิดการอุดตันจะต้องทำการล้างเยื่อกรองที่อุดตันด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Cleaning) ร่วมกับวิธีทางเคมี (Chemical Cleaning) ก่อนที่จะนำไปทดลองในการทดลองต่อไป โดยการล้างทางกายภาพสามารถทำได้โดยการใช้ น้ำสะอาด ส่วนวิธีทางเคมีสามารถทำได้โดยการแช่เยื่อกรองในสารละลาย 1 N NaOH (sodium hydroxide) เป็นเวลา 1 วัน แล้วตามด้วยการแช่ใน 0.4 % NaOCl (sodium hypochlorite) เป็นเวลา 1 วัน (Kim et al. 2005) ทั้งนี้ Silalahi and Leiknes (2009) รายงานว่าการล้างที่อุณหภูมิสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างด้วยต่างและกรด

2.8. รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ AC-MF

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย/น้ำดิบ	กระบวนการบำบัด	การเดินระบบ	ที่มา	ผลการศึกษา
น้ำเสียฟอกย้อมที่ผ่านการตกตะกอนด้วย Alum ความเข้มข้น 50-200 mg/L	Coagulation (CF), CF-MF, CF-UF, CF-PAC ใช้ alum เป็นสาร coagulant:	- Flow rate = 25 L/h (MF 0.2 μm) - Flow rate = 15 L/h (MF 0.08 μm) - Air flow = 0-10 L/h	Harrelkas et al. (2009)	การลด COD และสีของ CF-MF, CF-UF และ CF-PAC เท่ากับ 37%, 42%, > 80% และ 65%, 74%, 50% ตามลำดับ
น้ำเสียสังเคราะห์ผสม 17 β -estradiol (E2) ความเข้มข้น 100-106 ng/L	PAC-MF: - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 1.2 L - MF (MRC., Hollow fiber, U shape), pore size = 0.4 μm , A = 75 cm^2	- Flux = 40-120 L/h-m ² - HRT 4-6 h - PAC 5.3-5.8 mg/L - Paddle with mixing speed of 90-170 rpm (G = 38.1-99 s ⁻¹)	Lee et al. (2009)	- การกำจัด E2 ขึ้นกับ PAC ในน้ำมากกว่าบน membrane - การเพิ่ม HRT, mixing และ ลด flux ช่วยลดการสะสมของ PAC บน MF และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด
Trace organic: atrazine solution (200 $\mu\text{g/L}$)	PAC-MF: - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 50 L - MF (Blue star, Hollow fiber), A = 0.2 μm , A = 0.4 m^2	- Flux = 60 and 100 L/h-m ² - การควบคุม Fouling ใช้ air diffuser - เติม Pac แบบ Batch	Jia et al. (2009)	Batch dosing: การเพิ่ม bubbling rate และ flux ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ. Continuous

ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย/น้ำดิบ	กระบวนการบำบัด	การเดินระบบ	ที่มา	ผลการศึกษา
		dosing และ แบบ continuous dosing (3, 5, 8, 10 mg/L)		dosing: การลด flux ช่วย เพิ่มประสิทธิภาพ
น้ำดิบจาก Guanting reservoir: COD _{Mn} = 4.75 mg/L pH 7.8 turbidity = 1.6 NTU, TOC = 5.28 mg/L AOC = 186 mg acetate- C/L.	BPAC-MF (Biological Powder activated carbon- microfiltration) coupled with ultrasonic: - ถังปฏิกรณ์ 30 L - MF (Hollow fiber), pore size = 0.22 μm, A = 1 m ²	- HRT = 1.5 h - TMP = 15-30 kPa - Intermittent filtration: (กรอง 8 mins และ หยุด 2 mins) - Air diffuser (DO = 4-6 mg/L) - Batch dosing 24 g/L	Liu et al. (2005)	- กำลังระยะเวลาใน การใช้ ultrasonic ดีที่สุดในที่ 10 W และ คือ 24 h. - การเพิ่มความ เข้มข้นของ PAC ช่วยปรับปรุง organic load และ rejection ของระบบ
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมี องค์ประกอบคือ proteins (18%), hydrocarbons (11%), humic or fulvic acid (16%), tannin (10%) and lignin (9%) - TOC = 9.09 mg/L , UV ₂₅₄ = 16.4 1/m and NH ₄ +N = 5.0 mg/l	PAC-MF: - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 5 L - MF (MRC., Hollow fiber), pore size = 0.1 μm, A = 0.05 m ²	- Flux = 1 m/d - TMP _{max} = 70 kPa, - Period = 30 days - Air flow = 5 L/min - Batch dosing (0, 10, 40 g/L) - ลำดับการล้าง : pure water, NaOH 1 N (1 d), and NaOCl 0.4%	Kim et al. (2005)	ที่ PAC 0, 10 และ 40 mg/L พบว่า - TOC removal เท่ากับ 51, 74 และ 83% - UV ₂₅₄ removal เท่ากับ 63, 89 และ 95%. - Service time เท่ากับ 32, 61 และ 97 h.
น้ำแม่ น้ำที่ผ่านการกรองที่ ปนเปื้อน NOM และ 17β- estradiol (E2)	PAC-MF: - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 1.2 L - MF (MRC., Hollow fiber), pore size = 0.4 μm, - A = 75 cm ²	- Flux of 80 L/h-m ² - TMP _{max} = 30 kPa - Magnetic stirrer (130 rpm) - PAC 5 mg/L	Song et al. (2009)	- E2 มากกว่า 90% ถูกกำจัดด้วย กลไก adsorption - PAC ช่วยลด fouling ของ NOM บน MF
น้ำแม่ น้ำที่ปนเปื้อน <i>E. coli</i>	MF & PAC-MF: - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 25 L - MF (Flat sheet), pore size = 0.2 μm, A = 0.0176 m ²	- Flux = 2.4 m/d - HRT = 24 h, - Air flow = 4-6 L/min - Period = 25-30 days - PAC 10 g/L: - PAC age = 25 d (purge 1 L/d, dose 10 g/d)	Ujang et al. (2002)	การเพิ่มความเข้มข้น ของ PAC ช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพใน การกำจัด <i>E. coli</i>

ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย/น้ำดิบ	กระบวนการบำบัด	การเดินระบบ	ที่มา	ผลการศึกษา
		<ul style="list-style-type: none"> - PAC age = 50 d (purge 0.5 L/d, dose 5 g/d) - PAC age = 125 d (purge 0.2 L/d, dose 2 g/d) 		
น้ำผิวดินปนเปื้อน NOMs	กระบวนการ Coagulation-ultrafiltration โดยใช้ commercial alum เป็นสาร coagulant - UF (Hollow fiber), MWCO = 68 kDa, $J_w = 13.7 \text{ L/m}^2\text{-h}$, $L_p 43 \pm 5 \text{ L/m}^2\text{-h-bar}$, $A = 0.11 \text{ m}^2$	<ul style="list-style-type: none"> - Flow rate = 2.67-8 L/min, - Constant TMP = 250 mmHg, - flocculation time = 15-5 min. - Air fiber network (200 L/min-m^2) 	Zularisam et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อใช้ pH, UV254 และ alum เท่ากับ 5.48, 3.24 L/(m. mg) และ 3.0 mgAl/L - NOM removal และ specific flux เท่ากับ 81.28% และ 30.61 LMHBar.
น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัด	GAC-MF (Granular activated carbon-microfiltration): - MF 4 modules (Flat sheet), $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{module}$	<ul style="list-style-type: none"> - Flux = 30 L/m²-h, (กรอง 8 mins และหยุด 2 mins) - Air flow (fouling) = 10 L/min/module, - Air flow (mixing) = 150 L/min - Batch dosing (GAC) = 1,500 mg/L 	Kim et al. (2009)	<p>Direct filtration:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการกำจัด UV₂₆₀ และ DOC เท่ากับ 30% และ 10% - service time เท่ากับ 70 วัน - Hydrophobic NOM ถูกกำจัดเป็นส่วนใหญ่ <p>GAC-MF:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการกำจัด UV₂₆₀ เท่ากับ 60% - service time เท่ากับ 130 วัน
Concentrate water จาก ระบบ reverse osmosis ของ ระบบนำน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่	Coagulation: - Alum และ FeCl ₃ - Jar test volume 1.5 L - Rapid mix: 180 rpm/ 5 min - Slow mix: 45 rpm/ 10 min	Coagulation: - Alum dose: 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 1, 2 และ 5 mM as Al. - Ferric chloride dose: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1 และ 2 mM as Fe ³⁺ .	Dialynas et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> - Alum ให้ DOC rejection สูงถึง 42%, ขณะที่ FeCl₃ ให้ประสิทธิภาพ 52% ที่ความเข้มข้นต่ำ (0.4

ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย/น้ำดิบ	กระบวนการบำบัด	การเดินระบบ	ที่มา	ผลการศึกษา
	- Settling time: 30 min. GAC: - GAC (Eurocarb, UK), particle size = 0.6 mm, surface area = 1,250 m ² /g.	Adsorption: - GAC dose: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3 และ 5 g/L. - ปริมาณน้ำเสีย 200 mL - Shaking: 180 rpm. - Sampling time: 15, 45, 60, 90, 180, 240, 300 และ 360 min.		mM) - GAC ให้ DOC rejection สูงถึง 91.3% เมื่อ เติมด้วยความ เข้มข้น 5 g/L.
น้ำเสียสังเคราะห์ : TOC 3.19 mg/L turbidity 1.042 NTU NH ₄ 1.117 mg/L UV ₂₅₄ 1.7 m ⁻¹	PAC-MF: - ถังปฏิกรณ์ 4 L - PAC (Darco KB-B, Norit), particle size = 100 to 325 mesh, surface area = 1500 m ² /g. - MF (flat-sheet), A = 0.04 m ² , pore size = 0.2 μm, dimensions (mm)	- Flux = 0.65 m/d - Batch dose (0 และ 20 g/L) - Suction pressure = -65~0 kPa.	Gai and Kim (2008)	การเพิ่มความเข้มข้น PAC ช่วยลด TMP และเพิ่ม ประสิทธิภาพในการ กำจัด TOC และ UV ₂₅₄ จาก 66.2 ถึง 69.8% และจาก 70.6 ถึง 82.4%.

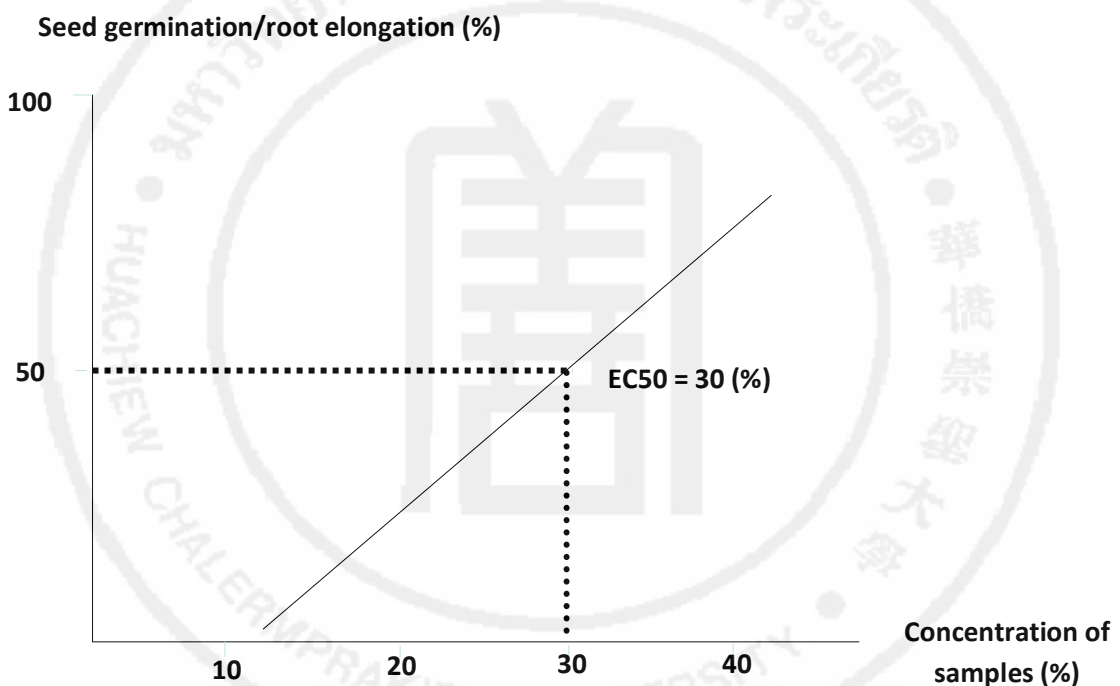
2.9. การทดสอบทางพิษวิทยา

การทดสอบความเป็นพิษของสารพิษต่าง ๆ มีหลายวิธีและหลายระดับ เช่น การทดลองโดยใช้ cell line เป็นรูปแบบการทดลอง การใช้ microorganisms ชนิดต่าง ๆ การใช้พืช และการใช้สัตว์ทดลอง ทั้งที่เป็นสัตว์ทดลองขนาดเล็กเซลล์เดียว ไปจนถึงสัตว์ทดลองที่มีขนาดใหญ่และมีโครงสร้างทางชีววิทยาใกล้เคียงกับมนุษย์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถระบุระดับความเป็นพิษของสารพิษ หรือสารเคมี ชนิดนั้นๆ ได้ โดยในปัจจุบันได้ มีการพัฒนาเทคนิคใหม่ ๆ เพื่อให้มีความสะดวกรวดเร็วในการแปรผลการทดสอบ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับสารเคมีรวม หรือ สารมลพิษรวมที่คาดว่าจะน่าจะมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในน้ำ ในดิน หรือแม้แต่ในอากาศ

อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เลือก 2 เทคนิคที่จะใช้ทดสอบระดับความเป็นพิษในระดับของการคัดกรองความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน คือ เทคนิค Seed Germination/Root Elongation และ เทคนิค Ames test ซึ่งเป็นวิธีทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรัง โดยสามารถแปรผลเบื้องต้นของการมีโอกาสการเป็นสารก่อมะเร็งจากความสามารถในการกลายพันธุ์ ซึ่ง 2 เทคนิคดังกล่าวสามารถสรุปหลักการโดยย่อ ดังนี้

2.9.1 หลักการของเทคนิค seed germination/root elongation และการประยุกต์ใช้

หลักการทั่วไปของเทคนิค Seed germination/Root elongation คือการใช้เมล็ดพืชเป็นตัวแทนของการทดสอบ โดยการนับจำนวนของเมล็ดพืชที่งอก และวัดความยาวรากเปรียบเทียบกับเมล็ดพืชที่ได้รับสารที่ต้องการทดสอบกับเมล็ดพืชในชุดควบคุม (ไม่ได้รับสารที่ต้องการทดสอบ) ซึ่งการทดสอบความเป็นพิษด้วยการนำสารที่ต้องการทดสอบมาเจือจางที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อให้ได้กราฟแสดงผลของความเป็นพิษที่แต่ละระดับความเข้มข้น แล้วนำไปคำนวณหาระดับความความเป็นพิษที่ร้อยละ 50 ของระดับความเป็นพิษทั้งหมด หรือการแปรผลในค่า Effective concentration ที่ร้อยละ 50 (EC_{50}) (รูปที่ 2-1)



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการคำนวณค่า EC_{50}

Seed Germination/Root Elongation เป็นเทคนิคที่ได้รับการแนะนำจาก Environmental Protection Agency (EPA) เรื่อง Ecological effect test guideline OPPTS 850.4200 Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test ซึ่งระบุให้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ได้

Seed germination / Root elongation ถูกนำมาใช้ในการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันในหลายลักษณะตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การทดสอบการความเป็นพิษของสารพิษรวม

(mixture substance) ที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีวิธีการไม่ซับซ้อน รวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ และสามารถแปลผลความเป็นพิษระดับการคัดกรองแบบเฉียบพลันได้เป็นอย่างดี (EPA. 1996)

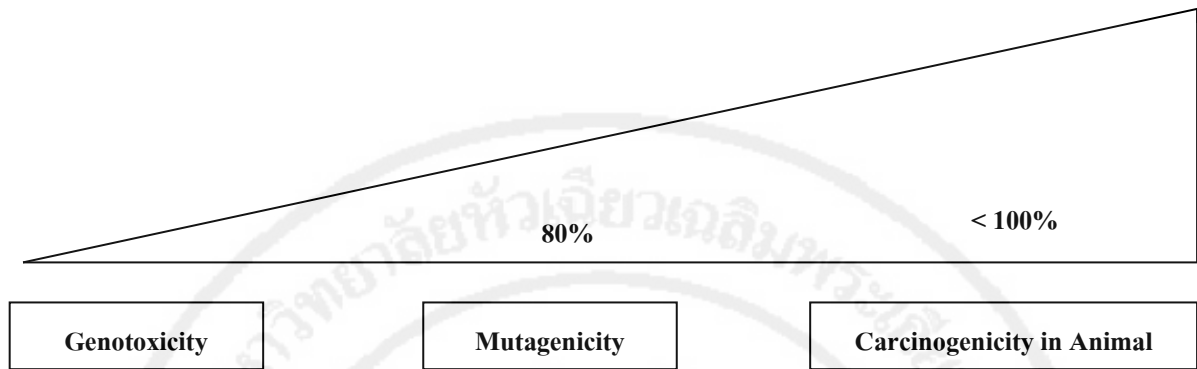
ตัวอย่างงานวิจัยที่เคยใช้เทคนิคนี้ในการศึกษาความเป็นพิษรวม เช่น การศึกษาความเป็นพิษของน้ำชะมูลฝอย โดยใช้การงอกของเมล็ดข้าวเป็นดัชนี (Tawach. 2008) เช่นเดียวกับการศึกษาของ ทองใบ และ ภรณ์ (2541) โดยศึกษาความเป็นพิษของน้ำชะมูลฝอยและน้ำกากส่า โดยการเปรียบเทียบการงอกและความยาวรากของเมล็ดพืชหลายชนิดเป็นดัชนี พบว่า เมล็ดข้าวมีความไวต่อการได้รับสารมลพิษรวม ซึ่งให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Wuncheng Wang and Paul (2004) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Wang and William (1988) ได้ศึกษาความเป็นพิษของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม 3 ประเภท ได้แก่ โรงงานผลิตเครื่องจักร โรงงานผลิตแป้งข้าวโพด และโรงงานผลิตสารเคมี ซึ่งจากตัวอย่างงานวิจัยทั้ง 4 เรื่อง มีการใช้หลักการของ Seed Germination/Root Elongation เหมือนกัน โดยเลือกใช้นิตของเมล็ดพืชที่ต่างกัน

2.9.2 หลักการของเทคนิค Ames test และการประยุกต์ใช้

การทดสอบความเป็นพิษด้วยหลักการ Ames test เป็นอีกเทคนิคหนึ่งในการแปลผลของโอกาสในการเกิดมะเร็ง ซึ่งอธิบายในรูปที่ 2-2 โดยสารเคมีที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) มีโอกาสที่จะก่อมะเร็งอย่างน้อยในสัตว์ทดลองประมาณ 80% ดังนั้นการใช้หลักการทดสอบการกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames test จึงเป็นรูปแบบหนึ่งในการคัดกรองการเกิดมะเร็งเบื้องต้นได้ (NIESH. 2008)

Endpoints in evaluation of Carcinogenicity

Relevance for identification of potential human carcinogens

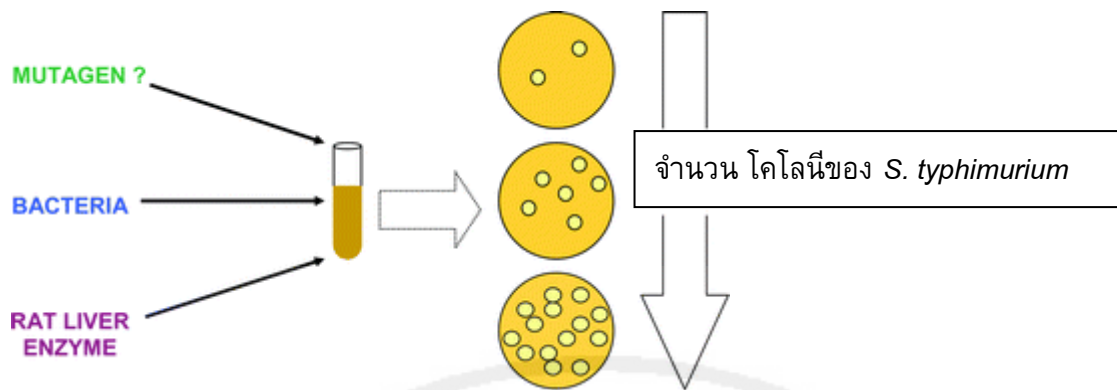


Key concept : Most carcinogens are mutagens

รูปที่ 2-2 Endpoint in evaluation of carcinogenicity

(ที่มา: NIESH. 2008)

หลักการทั่วไปของวิธี Ames test เป็นการสังเกตการปรากฏของแบคทีเรียที่เกิด back-mutation หรือ reversion เมื่อได้รับสารก่อกลายพันธุ์ โดยจะพบว่าอัตราการผันกลับของ revertant bacteria สูงกว่าอัตราการผันกลับที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่เทคนิค Ames test จะใช้แบคทีเรียชนิด *Salmonella* bacteria สายพันธุ์ต่างๆในการทดสอบ โดยการทดสอบความสามารถในการผันกลับได้ของ *Salmonella* ซึ่งขาดคุณสมบัติในการสังเคราะห์ histidine (His-) ไปสู่เซลล์ที่สามารถสังเคราะห์ histidine ได้ (His+) ภายหลังจากการได้รับสารก่อกลายพันธุ์ แสดงในรูปที่ 2-3 ซึ่งการเกิดโคโลนีของ *Salmonella* มากแสดงถึงความสามารถในการเกิดการกลายพันธุ์มาก



รูปที่ 2-3 หลักการทดสอบด้วยวิธีการ Ames test
(ที่มา: NIESH. 2008)

โดยทั่วไปแบคทีเรีย *Salmonella* ชนิดที่ใช้ใน Ames test คือ *S. typhimurium* ซึ่งสายพันธุ์ (strain) ที่มีการรับรองให้ใช้ได้ คือ TA97, TA98, TA100, TA102, TA104, TA1535, TA1537, and TA1538 นอกจากนี้ยังสามารถใช้แบคทีเรียชนิด *Escherichia coli*: strain WP2 uvrA pKM101 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับ *S. typhimurium* : strain TA102

อย่างไรก็ตามในการทดสอบการก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames test ควรใช้ *S. typhimurium* ในหลายสายพันธุ์เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการสรุปผล (Mortelmans and Zeiger. 2000)

การนำหลักการ Ames test มาประยุกต์ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาในหลายด้าน เช่น การวิจัยการกลายพันธุ์ของ สารสกัดสมุนไพรนมนาง, สันโศกและหญ้าหวาน (อุษณีย์ และคณะ. 2544) หรือ แม้แต่การประยุกต์ใช้การทดสอบคุณภาพของน้ำในแม่น้ำ (Otsu. 1998) รวมทั้งงานวิจัยของ Lah (2008) ได้นำวิธีการ Ames test ไปทดสอบการกลายพันธุ์ของสารพิษต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ ดิน และน้ำชะขยะ (Leachate) เป็นต้น

2.10. มาตรฐานการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

กรมควบคุมมลพิษ (คพ., 2552; 31-33) ได้เสนอแนวทางการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในชุมชน โดยจำแนกเป็นกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

- 1) กิจกรรมที่มนุษย์สัมผัสโดยตรง รวมถึงการใช้ในที่พักอาศัย เช่น น้ำชะล้างชักโครก น้ำรดต้นไม้ น้ำล้างรถ น้ำเพื่อการสำรองดับเพลิง น้ำเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ เช่น ตกปลา และการพายเรือ เป็นต้น
- 2) ใช้ในสิ่งแวดล้อม (เพิ่มทუნ้ำในธรรมชาติ) เช่น เพิ่มทუნ้ำในลำธาร เพิ่มทუნ้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ เพิ่มทუნ้ำในหนองน้ำ
- 3) ใช้ในสิ่งแวดล้อม-สำหรับการอุปโภคและบริโภคโดยอ้อม เพิ่มทუნ้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่นำมาใช้สำหรับการอุปโภคและบริโภคโดยอ้อม
- 4) ใช้ในการเก็บกักสำหรับกิจกรรมเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ ได้แก่กิจกรรมที่มีการสัมผัสเล็กน้อยหรือทั้งตัว เช่น การตกปลา/พายเรือ
- 5) ใช้ในการปรับปรุงภูมิทัศน์ ได้แก่การใช้ในพื้นที่สาธารณะที่ไม่ให้มีการสัมผัสกับน้ำ

ตารางที่ 2-5 ค่ามาตรฐานการนำน้ำที่กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

พารามิเตอร์	หน่วย	กิจกรรม				
		สัมผัสมนุษย์	เพิ่มทუნ้ำธรรมชาติ	เพิ่มทუნ้ำแหล่งน้ำดิบ	เก็บกักเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ	ปรับปรุงภูมิทัศน์
pH	-	6-9	6-9	6.5-8.5	6-9	6-9
BOD	mg/L	≤ 10	≤ 30	≤ 10	≤ 10	≤ 30
TSS	mg/L	-	≤ 30	-	-	≤ 30
Turbidity	NTU	≤ 2		≤ 2	≤ 2	
Coliform	MPN/100 ml	ND	≤ 200	ND	ND	≤ 200
TOC	mg/L	-	-	≤ 3	-	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก คพ. (2552)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1. ลักษณะของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.2. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

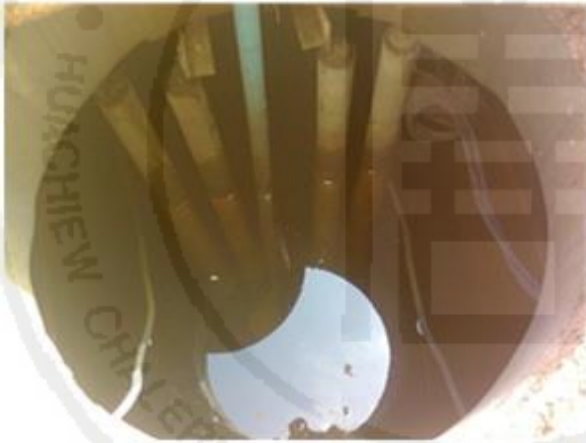
3.3. ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เลือกน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากอาคารซิน โสภณพนิช เป็นตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการวิจัย เนื่องจากมีลักษณะสมบัติที่ค่อนข้างคงที่ และมีคุณภาพที่ดีเหมาะสำหรับการปรับปรุงเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

ทั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารฯ มีลักษณะเป็นบ่อเกรอะและบ่อกรองไร้อากาศ จำนวน 2 ชุด ถังเกรอะและถังกรองไร้อากาศชุดที่ 1 เป็นลักษณะคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 3.5 เมตร x 7.4 เมตร สูง 3.30 เมตร ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นถังเกรอะจำนวน 2 ถังขนาด 1.40 เมตร x 3.5 เมตร ระดับน้ำเก็บกัก 2.10 เมตร ส่วนที่ 2 เป็นถังกรองไร้อากาศ จำนวน 2 ถัง ขนาด 1.40 x 3.5 เมตร มีระดับน้ำเก็บกัก 2.00 เมตร มีตัวกลางพลาสติกสูง 1.04 เมตร บ่อสูบลuft ขนาด 1.0 เมตร x 3.5 เมตร ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด 1.30 เมตร ส่วนที่ 3 บ่อสูบลuft จำนวน 1 บ่อ ขนาด 1.0 เมตร x 3.5 เมตร ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด 1.30 เมตร ติดตั้งเครื่องสูบลuft จำนวน 2 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3-1



ระบบบำบัดน้ำเสียของ
อาคารชิน โสภณพนิช



จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

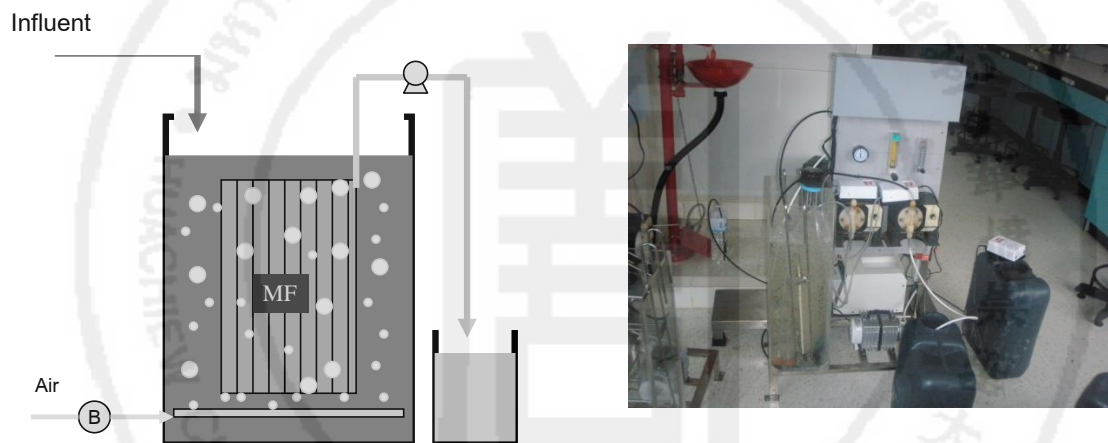


การเก็บตัวอย่างน้ำ

รูปที่ 3-1 ระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารชิน โสภณพนิช

3.4. ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF)

ระบบ AC-MF เป็นชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) มีลักษณะเป็นถังอะครีลิกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความจุประมาณ 30 ลิตร ภายในบรรจุเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันชนิดแผ่น (Flat sheet) ที่มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.08 micron (Toray Industries Co. Ltd., model Membray) ผลิตจาก PVDF (Polyvinylidene Fluoride) มีค่าฟลักซ์มาตรฐานเท่ากับ 0.75 m/day (0.03 m/hour) มีพื้นที่ผิวเยื่อกรองเฉลี่ยเท่ากับ 0.114 m² ใช้ Magnet Drive Pump สำหรับสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และใช้ Peristaltic Pump ดูดน้ำใสออกจากถังปฏิกรณ์ และใช้เครื่องเป่าอากาศผ่าน diffuser ติดตั้งใต้เยื่อกรองเพื่อทำความสะอาดหน้าผิวเยื่อกรองป้องกันการอุดตัน ชุดทดลอง AC-MF แสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ชุดทดลอง AC-MF

3.5. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.5.1 การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

การศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดของหน่วยบำบัดแบบติดกับที่ของอาคารซิน โสภณพณิช คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของอาคารซิน โสภณพณิช โดยใช้วิธีเก็บแบบจ้วงตัก (Grab sampling) จำนวน 3 ครั้ง ในวันที่ 4, 11 และ 18 สิงหาคม 2552 ใช้อุปกรณ์และวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	อุปกรณ์	วิธีการ
pH	pH meter	pH meter ¹
COD	ชุดเครื่องมือรีฟลักซ์	Closed reflux method ¹
BOD	ตู้ Incubator 20°C	BOD 5 days
SS	ตู้อบ 103-105 °C	อบที่ 103-105 °C ¹
Turbidity	Turbidity meter	Turbidity meter ¹
Electro-conductivity	EC meter	EC meter ¹
Organic matter	Spectrophotometer	UV-254 ¹
Membrane resistance		Resistance in series model ²

ที่มา: ¹ APHA, AWWA and WEF. (1998)

² Srisukphun et al. (2009)

3.5.2 การศึกษาความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

1) การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันด้วยวิธี Seed germination/root elongation

วิธีการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เมล็ดข้าวเป็นตัวแทนในการทดสอบด้วยวิธี Seed germination/ Root elongation สรุปได้ดังนี้ (EPA. 1996)

- (1) ทำการเจือจางน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด โดยแบ่งเป็น 0 %, 10%, 20%, 40%, 80% และ 100% ตามลำดับ
- (2) ทำการเพาะเมล็ดข้าวจำนวน 20 เมล็ด ใน Plate ของตัวอย่างตามจุดเก็บน้ำ และ control plate ด้วยน้ำสะอาด โดยใส่น้ำตัวอย่างของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ปริมาณ 10 ml ลงใน ทุก plate ตาม Dilution ที่เตรียมไว้
- (3) เก็บไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ในที่มืด
- (4) สังเกต control plate เมื่อมีการงอกของเมล็ดข้าวครบ 65 % ของทั้งหมด (คิดเป็น 13 เมล็ด) และมีความยาวราก ถึง 20 mm. จึงทำการวัด Plate ตัวอย่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ control plate
- (5) การประเมินค่า EC₅₀ (Effective concentration at 50%) หรือค่าระดับความเป็นพิษที่ยับยั้งการงอกของเมล็ดข้าว (Seed germination) และยับยั้งการเพิ่มความยาวราก (Root elongation)

2) การทดสอบความเป็นพิษเรื้อรัง ด้วยวิธี Ames test

การทดสอบความเป็นพิษเรื้อรังของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Ames test จะใช้แบคทีเรีย *S. typhimurium* จำนวน 2 สายพันธุ์ (strains) ซึ่งมีวิธีการทดสอบสรุปได้ดังนี้ (Mortelmans and Zeiger. 2000)

- (1) ทำการเพาะเลี้ยง *Salmonella* ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ไม่สามารถสังเคราะห์ histidine ได้
- (2) เติมน้ำตัวอย่างลงในหลอดทดลอง และเติมสารสกัดจาก ตับหนู (แหล่งของเอนไซม์) ทั้งในหลอดควบคุมและหลอดตัวอย่าง เนื่องจากสารเคมีหลายชนิดจำเป็นต้องถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์จากสัตว์ กิจกรรมการกลายพันธุ์หรือการก่อมะเร็งจึงปรากฏ
- (3) เทของผสมที่ได้ในข้อ 2 ในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มี histidine (His-) แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 2 วัน
- (4) นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นในจานเพาะเลี้ยงในชุดควบคุม เปรียบเทียบกับชุดตัวอย่าง ซึ่งจะแสดงการผันกลับของยีน histidine จาก His- ไปเป็น His+ (สังเคราะห์ histidine ได้) ของ *Salmonella* ที่เกิดขึ้นซึ่งตามธรรมชาติจะมีปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการกลายพันธุ์แบบ reversion ของ *Salmonella* ที่ได้รับสารก่อกลายพันธุ์ ซึ่ง การเกิด back-mutation และจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารมลพิษที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ที่ได้รับ

3.5.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันโดยไม่มีการเติมถ่านกัมมันต์ ทำทดลองโดยควบคุมอัตราการกรองที่ 0.8 m/d เติมน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการตรวจวัดค่าความสกปรกของน้ำด้วยพารามิเตอร์ pH, Turbidity, EC, Color, COD และ BOD

ประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนของระบบสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าความสกปรกในน้ำเสียและน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้สมการที่ 3-1 ในการคำนวณ

$$R = \left[1 - \frac{C_P}{C_F} \right] \cdot 100 \quad 3-1)$$

โดยที่ R หมายถึงประสิทธิภาพในการบำบัด (%), C_p หมายถึง ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนใน Permeate water, C_f หมายถึง ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนใน Feed water

เมื่อทำการทดลองเสร็จแต่ละ Batch ให้ล้างเยื่อกรองด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Cleaning) ร่วมกับวิธีทางเคมี (Chemical Cleaning) ก่อนที่จะนำไปทดลองในการทดลองต่อไป โดยการล้างทางกายภาพสามารถทำได้โดยการใช้ น้ำสะอาด ส่วนวิธีทางเคมีสามารถทำได้โดยการแช่เยื่อกรองในสารละลาย 1 N NaOH (sodium hydroxide) เป็นเวลา 1 วัน แล้วตามด้วยการแช่ใน 0.4 % NaOCl (sodium hypochlorite) เป็นเวลา 1 วัน (Kim *et al.* 2005)

3.5.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับการเติมถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 g/L ทำทดลองโดยควบคุมอัตราการกรองที่ 0.8 m/d เติมน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการตรวจวัดค่าความสกปรกของน้ำด้วยพารามิเตอร์ pH, Turbidity, EC, Color, COD และ BOD

ประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนของระบบสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าความสกปรกในน้ำเสียและน้ำผ่านการบำบัด โดยใช้สมการที่ 3-1 ในการคำนวณ

3.5.5 การศึกษาการอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Membrane fouling) ในการทดลองกำหนดให้เดินระบบ (Operating Mode) แบบควบคุมอัตราการกรองคงที่ (Constant flux) ทำการทดลองโดยกรองน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ด้วยอัตราการกรอง 0.8 m/d ทำการบันทึกค่าแรงดันที่ใช้ในการกรอง (Trans-membrane pressure, TMP) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเนื่องจากเกิดการอุดตัน เพื่อตรวจสอบค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ของเยื่อกรอง โดยที่ค่า Permeability สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-2

$$L_p = \frac{Q}{A \cdot \Delta P} \quad 3-2$$

โดยที่ L_p หมายถึง Permeability (L/h.m².bar), Q หมายถึง อัตราไหลของน้ำที่ออก จากเยื่อกรอง (L/h), A หมายถึง พื้นที่ของเยื่อกรอง (m²) และ ΔP หมายถึง Trans-membrane Pressure (bars)

3.5.6 การศึกษาความเป็นพิษของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

การศึกษาความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะดำเนินการเปรียบเทียบ ระหว่าง 2 เทคนิคที่สามารถทดสอบระดับความเป็นพิษในระดับของการคัดกรองความเป็นพิษแบบ เฉียบพลัน ได้แก่ เทคนิค Seed Germination/Root Elongation และ เทคนิค Ames test ซึ่งเป็นวิธี ทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรัง โดยสามารถแปรผลเบื้องต้นของโอกาสในการเป็นสารก่อมะเร็งจาก ความสามารถในการกลายพันธุ์

3.6.แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■										
2. จัดทำและทดสอบชุดทดลอง		■	■									
3. ทำการทดลอง				■	■	■	■	■				
4. วิเคราะห์ข้อมูล								■	■	■		
5. จัดทำรายงานการศึกษา										■	■	■

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่ผ่านการบำบัด

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยระบบบ่อกองไร่อากาศ ของอาคารชิน โสภณพนิช โดยใช้วิธีเก็บแบบจ้วงตัก (Grab sampling) จำนวน 3 ครั้ง ในวันที่ 4, 11, และ 18 สิงหาคม 2552 จากการสังเกตพบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดมีสีสีดำ มีกากตะกอน มีกลิ่นเหม็น ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะค่อนข้างใส มีสีเหลืองอ่อน มีความขุ่นเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อมพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4-1)

- 1) พีเอช
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะที่เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.0-8.2 ซึ่งเป็นช่วงปกติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ
- 2) ซีโอดี
ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี มีค่าอยู่ระหว่าง 89.5-109.5 mg/L หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 99.5 mg/L
- 3) บีโอดี
ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี มีค่าอยู่ระหว่าง 22.4-30.7 mg/L หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ต่ำกว่า 27.8 mg/L
- 4) ของแข็งแขวนลอย
ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 16.0-21.0 mg/L หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ต่ำกว่า 18.5 mg/L
- 5) ค่าความขุ่น
ค่าความขุ่นในน้ำทิ้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.22-4.10 NTU หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ต่ำกว่า 3.125 NTU
- 6) ค่าการนำไฟฟ้า
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 263.5-275.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ต่ำกว่า 268.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$

ตารางที่ 4-1 ค่าลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดของอาคารซิน โสภณพณิช

พารามิเตอร์	หน่วย	ลักษณะสมบัติ	
		ช่วง	ค่าเฉลี่ย
pH	-	7.0-8.2	-
COD	mg/L	89.5-109.5	99.5
BOD	mg/L	22.4-30.7	27.8
Suspended solids (SS)	mg/L	16.0-21.0	18.5
Turbidity	NTU	2.22-4.10	3.125
Electro-conductivity (EC)	μ S/cm	263.5-275.5	268.4

4.2. ความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

การศึกษาค่าความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของอาคารซิน โสภณพณิช ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบ 2 วิธีการ ได้แก่ วิธี Seed germination/ Root elongation และวิธี Ames test โดยที่วิธี Seed germination/ Root elongation มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน ส่วน วิธี Ames test มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง

การศึกษาค่าความเป็นพิษด้วยวิธี Seed germination / Root elongation ดำเนินการโดยนำน้ำเสียที่เจือจางด้วยความเข้มข้นต่าง ๆ ไปเพาะเมล็ดข้าวเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุม (การเพาะด้วยน้ำประปา) แล้วสังเกตการงอกของเมล็ดข้าว (การที่ลำต้นอ่อนงอกพ้นเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวออกมา) และความยาวของราก (ความยาวจากจุดเชื่อมต่อระหว่างลำต้นกับรากอ่อนไปจนถึงปลายราก) ซึ่งพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทำให้เมล็ดข้าวงอกเท่ากับ 20 เมล็ด มากกว่าการใช้น้ำประปาในการเพาะซึ่งนับได้ 18 เมล็ด ส่วนผลต่อความยาวรากพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทำให้ความยาวรากของเมล็ดข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 2.84 cm ยาวกว่าการใช้น้ำประปาในการเพาะเล็กน้อย ซึ่งวัดความยาวรากได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 cm

การศึกษาค่าความเป็นพิษด้วยวิธี Ames test ดำเนินการโดยทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ ซึ่งพิจารณาความสามารถของเชื้อแบคทีเรีย *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 หรือ TA100 ที่ถูกทำให้กลายพันธุ์จนไม่สามารถสังเคราะห์ histidine ได้ หากตัวอย่างน้ำที่นำมาศึกษามีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ก็จะสามารถเหนี่ยวนำให้ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 หรือ TA100 เกิดการกลายพันธุ์ (reverse mutation) กลับมาสังเคราะห์ histidine ได้อีกครั้งหนึ่งและเกิด revertant colonies โดยใช้เกณฑ์ชี้วัดการกลายพันธุ์เมื่อจำนวน revertant colonies มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของจำนวน spontaneous colonies จาก negative control พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไม่มีฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์

ตารางที่ 4-2 จำนวนโคโลนีที่ revertant จากการทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ของ ตัวอย่างน้ำในเชื้อ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100

เชื้อ <i>Salmonella</i> ตัวอย่างน้ำ	จำนวนโคโลนีที่ revertant	
	TA 98	TA 100
1	36	87
2	44	79
3	32	85
เฉลี่ย	37	83

หมายเหตุ : Positive control *Salmonella* TA 98 = 87, 98, 94 (เฉลี่ย 93 โคโลนี)
 Positive control *Salmonella* TA 100 = 830, 739, 614 (เฉลี่ย 727 โคโลนี)
 Negative control *Salmonella* TA 98 = 34, 25, 28 (เฉลี่ย 28 โคโลนี)
 Negative control *Salmonella* TA 100 = 96, 58, 75 (เฉลี่ย 76 โคโลนี)

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของโคโลนี revertant จากการทดสอบความสามารถในการก่อการกลายพันธุ์ ของตัวอย่างน้ำในเชื้อ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100

ตัวอย่างที่ทดสอบ	ค่าเฉลี่ยของโคโลนี				ฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์	
	TA98		TA100		TA98	TA100
	Spontaneous (Negative control)	Revertant	Spontaneous (Negative control)	Revertant		
1- aminopyrene (Positive control)	28	93			+	
Sodium azide (Positive control)			76	727		+
ตัวอย่างน้ำทิ้ง	37	10	76	727	-	-

หมายเหตุ : 1. ฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์พิจารณาโดยใช้เกณฑ์จำนวน revertant colonies มีค่า เท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของ จำนวน spontaneous colonies จาก negative control
 2. + หมายถึง มีฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์
 3. - หมายถึง ไม่มีฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์

4.3. การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (MF)

การศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันในการบำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากอาคารซิน โสภณพาณิชย์ ดำเนินการโดยการใช้ Peristaltic pump ดูดน้ำใสผ่าน MF อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการกรอง 4 L/h (0.8 m/d) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์ ระหว่างการกรองทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 10 L/min เพื่อลดการอุดตันที่เกิดขึ้นบน MF ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดและวิเคราะห์ค่าความสกปรกทุก ๆ 1 ชั่วโมง

ผลการตรวจวัดค่าความสกปรกของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดแสดงในตารางที่ 4-4 จากการทดลองพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH แปรปรวนในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 7.88-8.26 มีค่า EC ค่อนข้างคงที่อยู่ระหว่าง 256.6-268.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 260.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ส่วน Turbidity มีค่าอยู่ระหว่าง 0.12-0.20 NTU คิดเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ค่า COD อยู่ระหว่าง 20.9-40.8 mg/L เฉลี่ยเท่ากับ 31.7 mg/L สำหรับค่า BOD อยู่ระหว่าง 6.5-11.9 mg/L เฉลี่ยเท่ากับ 9.2 mg/L

ตารางที่ 4-4 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

เวลากรอง (hours)	พารามิเตอร์				
	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidity (NTU)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
1	7.99	265.0	0.13	31.4	10.0
2	8.22	265.6	0.12	20.9	6.5
3	8.26	260.0	0.17	36.1	10.8
4	7.91	257.7	0.17	36.1	11.9
5	7.88	256.6	0.16	25.0	8.0
6	8.01	257.3	0.20	40.8	11.4
ค่าเฉลี่ย	-	260.4	0.16	31.7	9.2
ค่าความสกปรก ของน้ำทิ้งก่อน ปรับปรุงคุณภาพ	8.00	268.4	3.125	109.0	29.4

ประสิทธิภาพในการบำบัดของ MF แสดงในตารางที่ 4-5 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า MF มีประสิทธิภาพในการบำบัด EC, Turbidity COD และ BOD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.85, 94.93, 70.93 และ 68.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

เวลากรอง (hours)	ประสิทธิภาพ (%)			
	EC	Turbidity	COD	BOD
1	1.12	95.84	71.23	66.0
2	0.90	96.16	80.82	77.9
3	2.99	94.56	66.92	63.3
4	3.84	94.56	66.92	59.5
5	4.25	94.88	77.06	72.8
6	3.99	93.60	62.61	61.2
เฉลี่ย	2.85	94.93	70.93	68.7

4.4. การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับ MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับ MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำกลับไปใช้ซ้ำด้วยวัสดุประสงค์ต่าง ๆ ดำเนินการโดยการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์ด้วยความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 g/L of reactor ทำการดูดน้ำใสผ่าน MF ออกจากถังปฏิกรณ์ด้วยอัตราการกรอง 4 L/h (0.8 m/d) เก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

กรณีเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์ด้วยความเข้มข้น 0.5 g/L พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.15-7.93 มีค่า EC อยู่ระหว่าง 250.7-257.4 $\mu\text{S/cm}$ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 253.7 $\mu\text{S/cm}$ มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 0.13-0.16 NTU คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 NTU มีค่า COD อยู่ระหว่าง 0.00-33.57 mg/L คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.72 mg/L มีค่า BOD อยู่ระหว่าง 0.0-7.4 mg/L คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 mg/L ดังแสดงในตารางที่ 4-6

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดแสดงในตารางที่ 4-7 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบฯ มีประสิทธิภาพในการบำบัด EC, Turbidity, COD และ BOD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.03, 96.11, 84.67 และ 82.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-6 ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วย AC-MF เมื่อเติม AC ความเข้มข้น 0.5 g/L

เวลากรอง (hours)	อุณหภูมิ (°C)	pH (-)	EC (µS/cm)	Turbidity (NTU)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
1	34.2	7.15	252.5	0.16	33.57	10.4
2	31.3	7.73	257.4	0.13	27.53	7.7
3	32.4	7.93	254.5	0.15	21.95	7.0
4	32.1	7.84	250.7	0.14	10.97	2.9
5	29.4	7.71	251.4	0.14	6.27	2.2
6	31.5	7.45	255.5	0.13	0.00	0.0
ค่าเฉลี่ย	31.8	7.64	253.7	0.14	16.72	5.0

ตารางที่ 4-7 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L

เวลากรอง (hours)	ประสิทธิภาพ (%)			
	EC	Turbidity	COD	BOD
1	5.47	95.60	69.20	64.6
2	3.63	96.43	74.74	73.8
3	4.72	95.88	79.86	76.1
4	6.14	96.15	89.94	90.3
5	5.88	96.15	94.25	92.5
6	4.34	96.43	100.00	100.0
เฉลี่ย	5.03	96.11	84.67	82.9

กรณีเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์ด้วยความเข้มข้น 1.0 g/L พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.93-8.16 มีค่า EC อยู่ระหว่าง 252.0-261.0 µS/cm คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 257.4

$\mu\text{S/cm}$ มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 0.13-0.18 NTU คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 NTU และมีค่า COD และ BOD เท่ากับ 0.00 mg/L ในทุกตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4-8

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดแสดงในตารางที่ 4-9 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบฯ มีประสิทธิภาพในการบำบัด EC, Turbidity, COD และ BOD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.59, 96.84, 100 และ 100 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-8 ความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วย AC-MF เมื่อเติม AC ความเข้มข้น 1.0 g/L

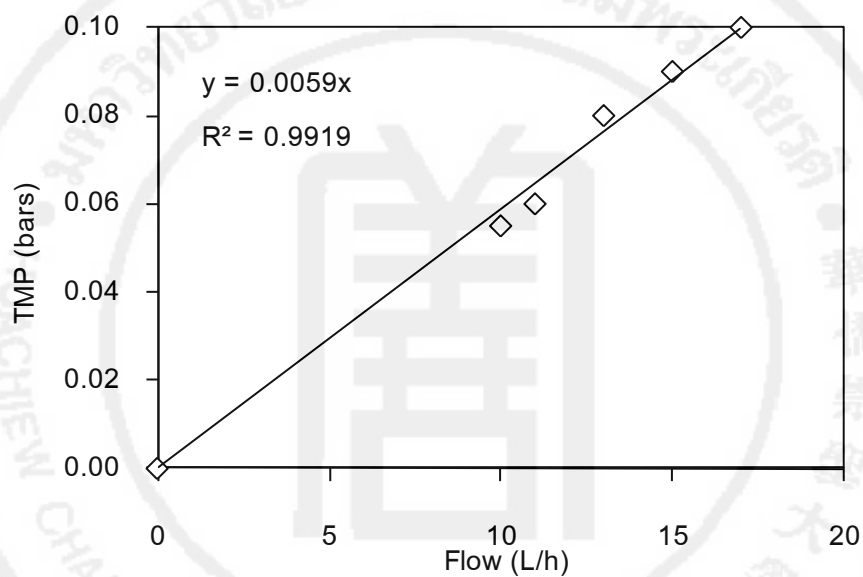
เวลากรอง (hours)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	pH (-)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidity (NTU)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
1	25.9	7.93	261.0	0.18	0	0
2	25.6	7.96	260.2	0.17	0	0
3	25.3	8.14	259.2	0.13	0	0
4	25.6	8.10	252.0	0.14	0	0
5	25.7	8.08	256.6	0.14	0	0
6	25.3	8.16	255.5	0.15	0	0
ค่าเฉลี่ย	25.6	8.06	257.4	0.15	0	0

ตารางที่ 4-9 ประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L

เวลากรอง (hours)	ประสิทธิภาพ (%)			
	EC	Turbidity	COD	BOD
1	2.25	96.25	100	100
2	2.55	96.46	100	100
3	2.92	97.29	100	100
4	5.62	97.08	100	100
5	3.90	97.08	100	100
6	4.31	96.88	100	100
เฉลี่ย	3.59	96.84	100	100

4.5. การอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

จากการทดลองกรองเยื่อกรอง MF ด้วยน้ำบริสุทธิ์ ที่อัตราการกรองต่าง ๆ พบว่าเยื่อกรองที่นำมาใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรองและ TMP เป็นไปตามสมการเส้นตรง (รูปที่ 4-1) ได้แก่ $y = 0.0059x$ โดยที่ y หมายถึง TMP (bars) ส่วน x หมายถึง อัตราการกรอง (L/h) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า permeability เฉลี่ยได้เท่ากับ $1,487 \text{ L/h.m}^2.\text{bar}$ หรือคิดเป็น membrane resistance (R_M) เฉลี่ยได้เท่ากับ $3.087 \times 10^{-11} \text{ m}^{-1}$



รูปที่ 4-1 อัตราการไหลของน้ำบริสุทธิ์ (Pure water flow rate) และ TMP ของ MF ก่อนใช้งาน

อุดตันของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันศึกษาโดยการเดินระบบด้วยอัตราการกรอง 4 L/hr คงที่ ระหว่างการทดลองดำเนินการบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรอง และแรงดันที่เปลี่ยนแปลงทุก ๆ ช่วงเวลา 20 นาที เป็นเวลารวม 360 นาที (6 ชั่วโมง) ทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีการเดินระบบ ๆ ที่เติมถ่านกัมมันต์ด้วยความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 g/L of reactor ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความหนืดของน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยปรับเป็นค่า Flux ณ อุณหภูมิมาตรฐาน สำหรับการศึกษานี้กำหนดให้ใช้อุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 25°C โดยใช้สมการ $Q_T = Q_{25^{\circ}\text{C}} \times 1.03^{(T-25)}$ (Srisukphun, 2009; 125-127) ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4-10

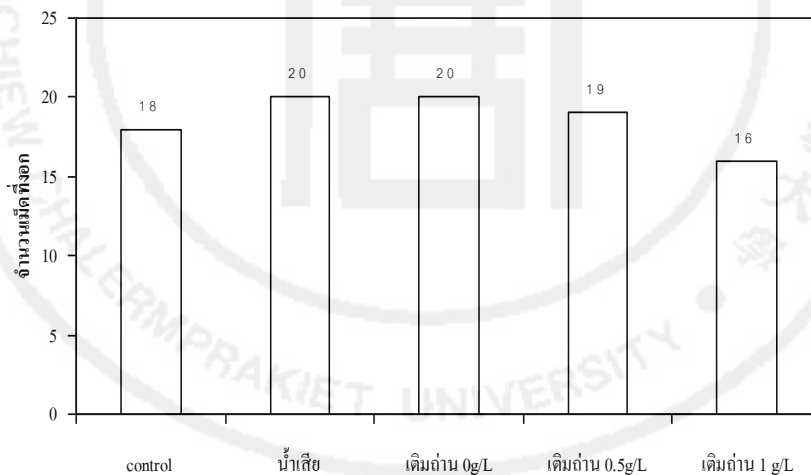
ตารางที่ 4-10 แสดงอัตราการไหล และ แรงดันที่ใช้ในการกรอง

เวลา	ถ่านกัมมันต์ 0 mg/L						ถ่านกัมมันต์ 0.5 mg/L						ถ่านกัมมันต์ 1.0 mg/L							
	Flow mL/min	Pressure (bar)	temp (°C)	Flow mL/min	Flux 25°C m/d	Flow mL/min	Pressure (bar)	temp (°C)	Flow mL/min	Flux 25°C m/d	Flow mL/min	Pressure (bar)	temp (°C)	Flow mL/min	Flux 25°C m/d	Flow mL/min	Pressure (bar)	temp (°C)	Flow mL/min	Flux 25°C m/d
	20	64.00	0.03	25.00	64.00	0.81	68.00	0.03	29.00	60.42	0.76	66.00	0.04	31.70	54.14	0.68				
40	67.00	0.03	25.00	67.00	0.85	68.00	0.03	29.00	60.42	0.76	68.00	0.04	31.70	55.78	0.70					
60	65.00	0.04	25.00	65.00	0.82	68.00	0.03	29.00	60.42	0.76	69.00	0.04	29.00	61.31	0.77					
80	69.00	0.04	30.90	57.96	0.73	68.00	0.03	31.30	56.45	0.71	68.00	0.04	31.30	56.45	0.71					
100	68.00	0.04	30.90	57.12	0.72	68.00	0.03	31.30	56.45	0.71	68.00	0.04	31.30	56.45	0.71					
120	68.00	0.04	30.90	57.12	0.72	67.00	0.03	31.30	55.62	0.70	68.00	0.04	31.30	56.45	0.71					
140	68.00	0.04	30.80	57.29	0.72	67.00	0.03	32.40	53.84	0.68	67.00	0.04	32.40	53.84	0.68					
160	68.00	0.04	30.90	57.12	0.72	68.00	0.03	32.40	54.64	0.69	68.00	0.04	32.40	54.64	0.69					
180	68.00	0.04	30.60	57.63	0.73	67.00	0.03	32.40	53.84	0.68	68.00	0.04	32.40	54.64	0.69					
200	69.00	0.04	28.20	62.77	0.79	68.00	0.03	32.10	55.13	0.70	69.00	0.04	32.10	55.94	0.71					
220	60.00	0.04	28.20	54.58	0.69	67.00	0.03	32.10	54.32	0.69	69.00	0.04	32.10	55.94	0.71					
240	64.00	0.04	28.20	58.22	0.74	68.00	0.03	32.10	55.13	0.70	67.00	0.04	32.10	54.32	0.69					
260	67.00	0.04	31.00	56.11	0.71	67.00	0.03	33.00	52.89	0.67	69.00	0.04	33.00	54.47	0.69					
280	67.00	0.04	31.00	56.11	0.71	68.00	0.03	33.00	53.68	0.68	67.00	0.04	33.00	52.89	0.67					
300	71.00	0.04	31.00	59.46	0.75	68.00	0.03	33.00	53.68	0.68	68.00	0.04	33.00	53.68	0.68					
320	66.00	0.04	33.00	52.10	0.66	68.00	0.04	27.00	64.10	0.81	68.00	0.04	34.00	52.12	0.66					
340	70.00	0.04	33.00	55.26	0.70	67.00	0.04	27.00	63.15	0.80	68.00	0.04	34.00	52.12	0.66					
360	69.00	0.04	33.00	54.47	0.69	68.00	0.04	27.00	64.10	0.81	68.00	0.04	34.00	52.12	0.66					

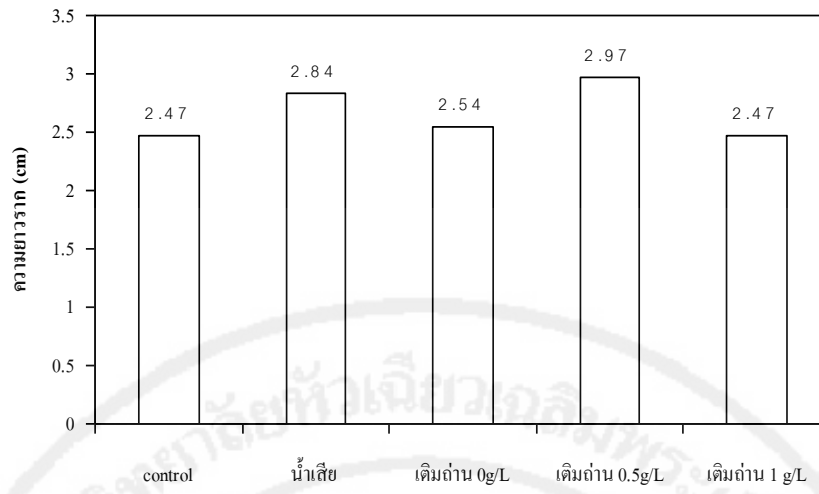
4.6.การศึกษาความเป็นพิษของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

การทดสอบความเป็นพิษ (Toxicity) ของน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น ร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยวิธีนับจำนวนเม็ดที่งอกในการเพาะเมล็ดข้าวด้วยน้ำตัวอย่างความเข้มข้น 100% เปรียบเทียบกับการเพาะด้วยน้ำประปา (control) แสดงในรูปที่ 4-2 และ 4-3

จากการทดลองพบว่า การเพาะด้วยน้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการกรองด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น (โดยไม่เติมถ่านกัมมันต์) ทำให้เมล็ดข้าวงอกและรากยาวมากกว่าการเพาะด้วยน้ำประปา (control) อาจเนื่องมาจากสารละลายที่อยู่ในน้ำเสีย อาจมีองค์ประกอบเป็นธาตุอาหารที่ช่วยกระตุ้นการงอกและความยาวรากของเมล็ดข้าวจึงทำให้เมล็ดข้าวเจริญเติบโตเร็วกว่าสภาวะควบคุม แต่เมื่อการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 g/L พบจำนวนเมล็ดข้าวที่งอกลดลง อาจเนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ดูดซับองค์ประกอบบางอย่างในน้ำเสียที่มีส่วนช่วยกระตุ้นการงอก จึงทำให้ข้าวงอกล่าช้า และเมื่อนำผลการทดลองมาคำนวณค่า EC_{50} เพื่อตรวจสอบความเป็นพิษ พบว่า น้ำเสียและน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่มีระดับความเป็นพิษเมื่อใช้เพาะเมล็ดข้าว



รูปที่ 4-2 แสดงปริมาณเมล็ดข้าวที่งอก



รูปที่ 4-3 แสดงความยาวของรากในการเพาะเมล็ดข้าว

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดของอาคารชิน โสภณพนิช พบว่าน้ำทิ้งมีค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย เฉลี่ยเท่ากับ 29.4 99.5 และ 18.5 mg/L ตามลำดับ มีค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 3.125 NTU และมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 268.4 $\mu\text{S/cm}$

จากผลการทดสอบความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Seed germination/ Root elongation พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทำให้จำนวนเมล็ดข้าวงอกมากกว่าการใช้น้ำประปาในการเพาะ และส่งผลให้ความยาวรากที่งอกยาวกว่าการใช้น้ำประปาในการเพาะเล็กน้อยด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายที่อยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด อาจมีองค์ประกอบเป็นธาตุอาหารที่ส่งผลช่วยกระตุ้นการงอก และความยาวรากของเมล็ดข้าว จึงทำให้เมล็ดข้าวเจริญเติบโตเร็วกว่าสภาวะควบคุม นั่นคือไม่พบระดับความเป็นพิษเฉียบพลันอย่างชัดเจนเมื่อใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในการเพาะเมล็ดข้าว

สำหรับการทดสอบความเป็นพิษของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี Ames test พบว่าเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกลายพันธุ์กลับของเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ ต่อตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะเห็นว่าตัวอย่างน้ำนั้นให้ผล (-) คือไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์เกิดขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากความไม่เหมาะสมของสายพันธุ์ของเชื้อที่นำมาทดสอบโดยเฉพาะ *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA100 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Varella et al. (2004) ที่ได้รายงานสายพันธุ์ TA100 นั้นยากต่อการตอบสนองต่อการเหนี่ยวนำกลับของสารเคมีที่นำมาศึกษา โดยให้เหตุผลว่าอาจเกิดจากการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงยีนต่างจากสายพันธุ์ TA98 ซึ่งสายพันธุ์ TA100 จะมีกลไกการกลายพันธุ์แบบ base-pair substitution ที่จะไม่ปรากฏการแสดงออกทาง phenotype อย่างเด่นชัดเมื่อเกิดการกลายพันธุ์ ต่างจากสายพันธุ์ TA98 ที่มีกลไกการกลายพันธุ์แบบ frameshift mutation ซึ่งมีผลต่อการแสดงออกของ phenotype ที่เด่นชัดหากมีการกลายพันธุ์เกิดขึ้น จึงควรมีการพัฒนาสายพันธุ์ของ *S. typhimurium* เพื่อให้มีความไวและความจำเพาะต่อการทดสอบฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

นอกจากนี้การที่จะสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบมีสารก่อกลายพันธุ์ที่มีผลต่อยีนของมนุษย์นั้นควรมีการทดสอบเพิ่มเติมโดยใช้การทดสอบที่ใช้ยีนของสิ่งมีชีวิตที่ใกล้เคียงกับมนุษย์ เช่น หนู ได้แก่ วิธี mouse lymphoma assay หรือการใช้ยีนของมนุษย์ ได้แก่ วิธี chromosome aberration อย่างไรก็ตาม การศึกษาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์เบื้องต้นโดยวิธีเอ็มเอสโดยใช้แบคทีเรียในการทดสอบก่อนนั้นเป็นการคัดกรองหาสารเคมีที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์เพราะสามารถทดสอบได้ง่าย สะดวก และให้ผลที่รวดเร็ว

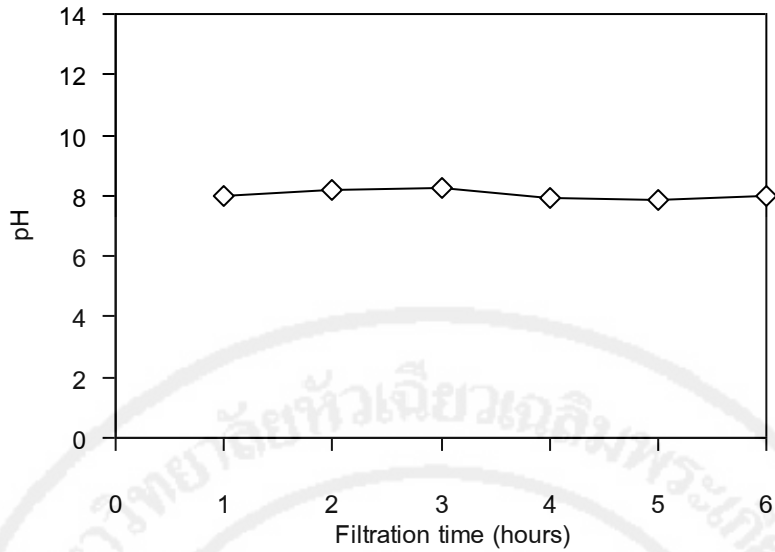
โดยสรุปพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของอาคารซิน โสภณพณิช มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์ (ตารางที่ 2-5, คพ., 2552) รวมถึงไม่มีความเป็นพิษหากนำไปใช้ปลูกต้นไม้ แต่เนื่องจากระบบบำบัดของอาคารซิน โสภณพณิช ไม่มีการฆ่าเชื้อโรค จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ใหม่โดยตรง ควรดำเนินการฆ่าเชื้อโรค หรือกำจัดเชื้อโรคออกจากน้ำก่อน เช่น การเติมคลอรีน การเติมโอโซน การฉายรังสียูวี และการกรองด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน เป็นต้น

5.2 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (MF)

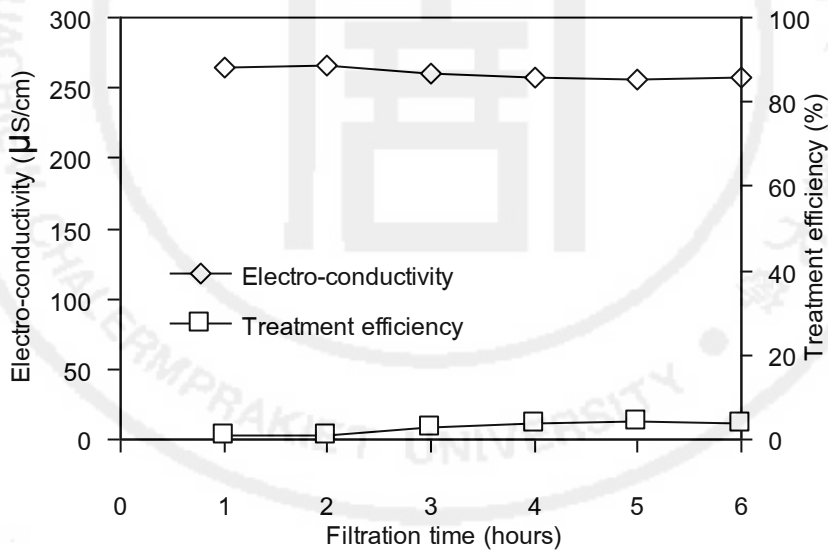
5.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอนินทรีย์ (Inorganic matter)

การกำจัดสารอนินทรีย์ของ MF พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) จากการทดลองพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH ใกล้เคียงกับน้ำเสียก่อนการบำบัด ส่วนค่า EC ของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกับน้ำทิ้งก่อนการบำบัด ซึ่งสามารถคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด EC ได้เพียงร้อยละ 0.90-4.25 ดังแสดงในรูปที่ 5-1 และ 5-2

แสดงให้เห็นว่า MF มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอนินทรีย์ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำมีขนาดเล็กมาก ซึ่งเล็กกว่ารูพรุนของ MF จึงสามารถลอดผ่านรูพรุนของ MF ออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดได้และทำให้ค่า pH และ EC ของน้ำก่อนและหลังผ่านการบำบัดมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 5-1 ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

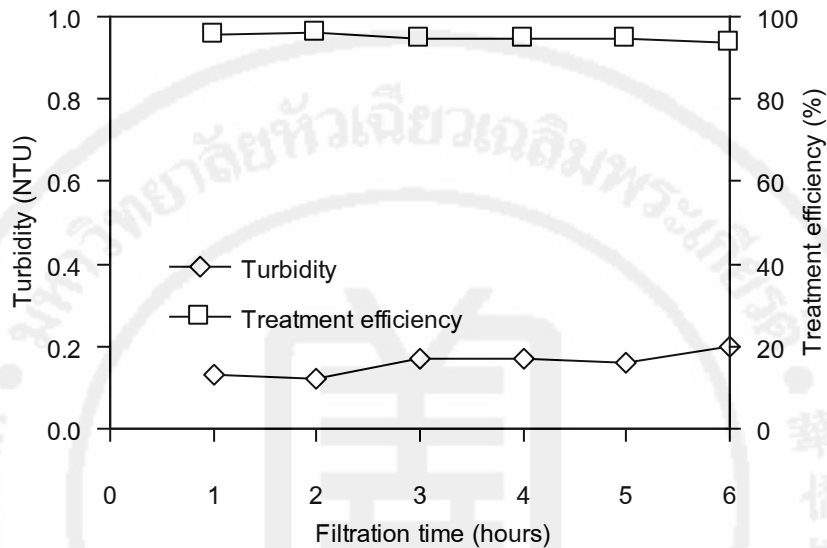


รูปที่ 5-2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

5.2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (Turbidity)

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วย MF มีลักษณะใส ไม่มีสี มีค่าความขุ่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำประปาที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 5 NTU สำหรับการทดลองนี้พบว่าค่าความขุ่นอยู่ใกล้เคียง 0 NTU หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 93.60-96.15 ดังแสดงในรูปที่ 5-3

แสดงให้เห็นว่า MF มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีมาก เนื่องจากความขุ่นในน้ำเกิดจากสารแขวนลอย ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 1 μm - 1 mm (มันลิน ตัณฑุลเวศม์. 2537: 148) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของ MF ดังนั้น MF จึงสามารถกำจัดความขุ่นออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดได้ดี

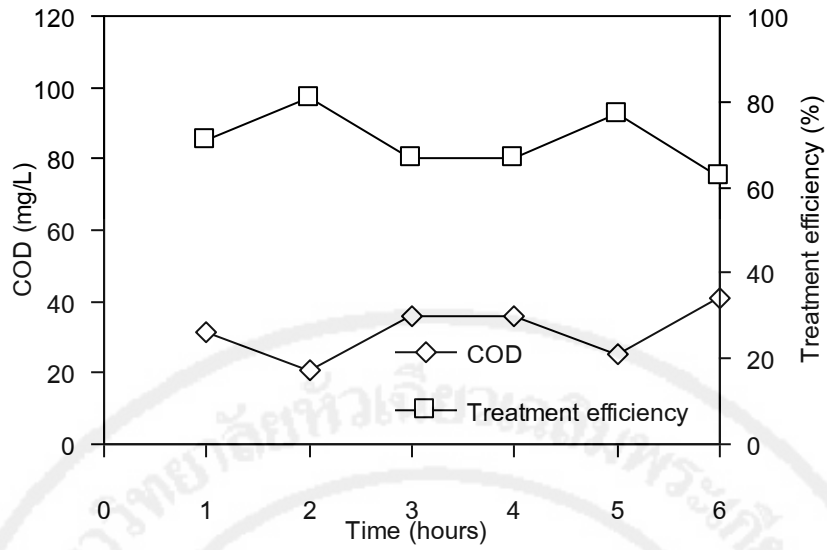


รูปที่ 5-3 ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

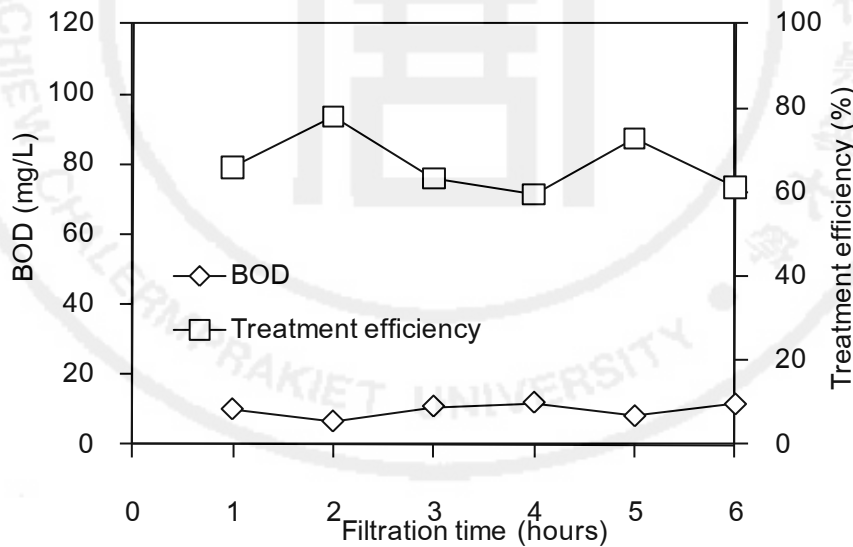
5.2.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (Organic matter)

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของ MF ประเมินจากการลดลงของค่า COD ซึ่งพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า COD อยู่ระหว่าง 20.9-40.8 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับร้อยละ 62.61-80.82 และมีน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า BOD อยู่ระหว่าง 6.5-11.9 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับร้อยละ 59.5-77.9 ดังแสดงในรูปที่ 5-4 และ 5-5

แสดงให้เห็นว่า MF มีประสิทธิภาพค่อนข้างดีในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำที่ก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วย MF ส่วนใหญ่เกิดจากสารแขวนลอยและคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของ MF (0.08 μm) ดังนั้นสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเหล่านี้จึงถูก MF กำจัดออกได้

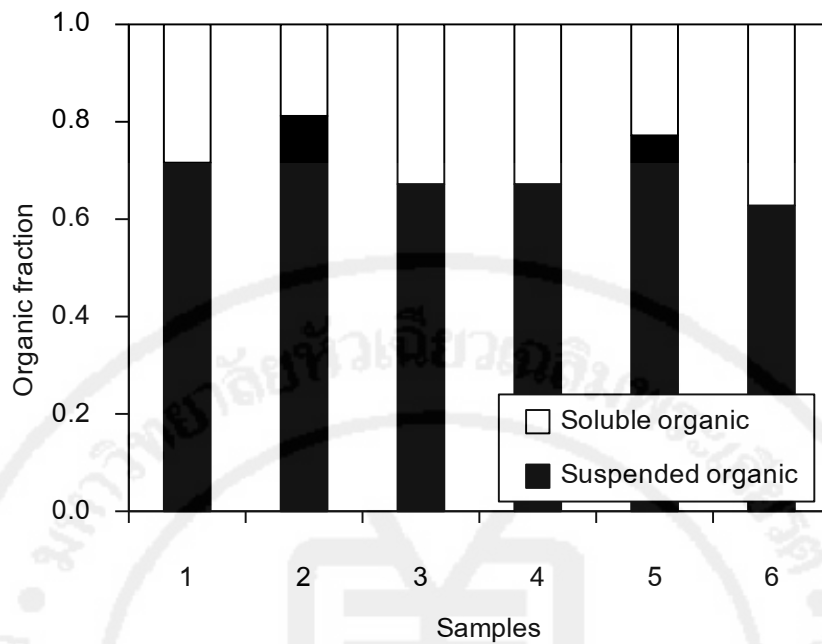


รูปที่ 5-4 ค่าซีไอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน



รูปที่ 5-5 ค่าบีไอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพในการบำบัดของเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

เมื่อพิจารณาค่า COD ในทิ้งที่ผ่านการกรองด้วย MF เปรียบเทียบกับก่อนการกรอง ทำให้ทราบว่า สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมีสัดส่วนที่เป็นสารอินทรีย์แขวนลอยต่อสารอินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 0.67-0.81 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 และมีสัดส่วนของสารอินทรีย์ละลายน้ำต่อสารอินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 0.19-0.37 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.29 ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 สัดส่วนของสารอินทรีย์แขวนลอยและสารอินทรีย์ละลายในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

5.2.4 การประยุกต์ใช้ระบบ MF ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใหม่

MF เป็นหน่วยบำบัดที่อาศัยกลไกการกรอง (Sieving mechanism) ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถกำจัดสารแขวนลอย และคอลลอยด์ในน้ำได้ดี จึงมีประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นได้สูงถึงร้อยละ 96.15 ซึ่งน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย MF จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ในกิจกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ในกิจกรรมการเพิ่มทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์ (BOD \leq 30 mg/L) ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

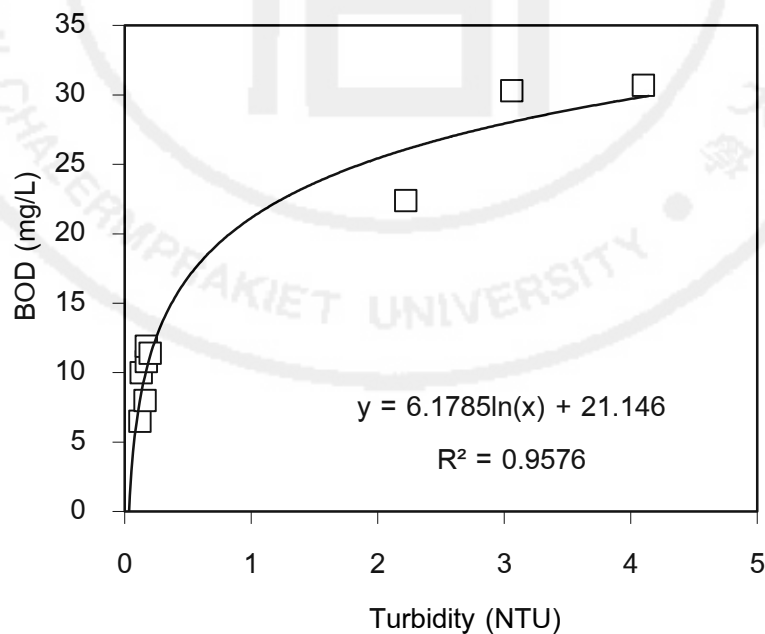
จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ MF เพียงอย่างเดียวโดยไม่เติมถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากอาคารซิน โสภณพณิช ให้สามารถนำกลับมาใช้ในกิจกรรมการเพิ่มทุนน้ำธรรมชาติและการปรับปรุงภูมิทัศน์ แต่หาก MF ได้รับความเสียหาย ฉีกขาด หรือเกิดรอยรั่ว ในระหว่างการใช้งาน อาจทำให้สารอินทรีย์แขวนลอยที่อยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจนอาจทำให้ลักษณะสมบัติไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นผู้ควบคุมระบบฯ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัด BOD ของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของ MF อย่างสม่ำเสมอ แต่ในทางปฏิบัติการตรวจวัดค่า BOD ต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน (5 วัน) จึงไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบประจำวัน คณะผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการ

คาดประมาณค่า BOD อย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบความสมบูรณ์ของ MF ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการตรวจวัดค่าความขุ่น (Turbidity) ของตัวอย่างน้ำ แล้วจึงนำมาคำนวณกลับเป็นค่า BOD

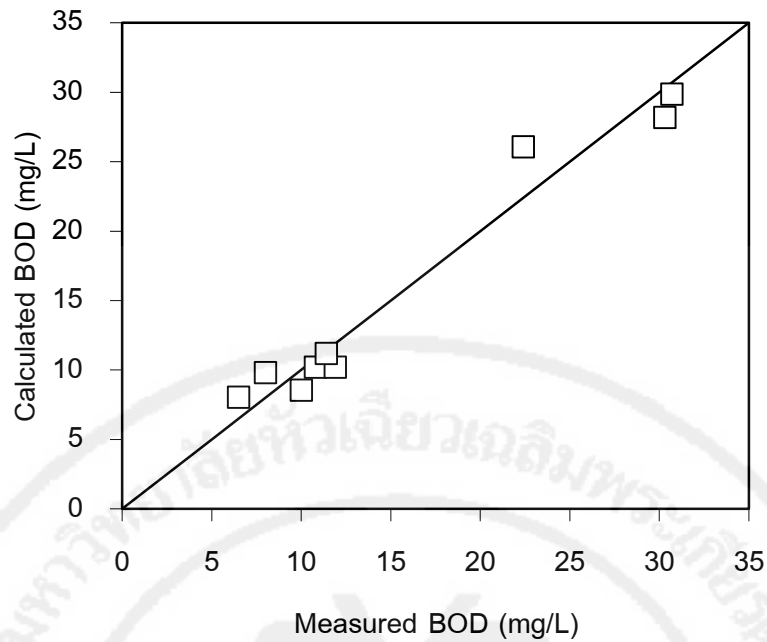
ทั้งนี้ เนื่องจากสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 71 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำอยู่ในรูปของสารแขวนลอย ที่ค่า BOD มีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่น ถึงแม้ว่าค่า BOD ในน้ำส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของสารละลายที่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่น แต่ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของสารแขวนลอยก็มีสัดส่วนมากเพียงพอที่จะประยุกต์ใช้การตรวจวัดความขุ่นในการคาดประมาณค่า BOD ที่ส่วนใหญ่เกิดจากสารแขวนลอยได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงนำลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งของอาคาร และน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย MF มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และความขุ่นดังแสดงในรูปที่ 5-7 ซึ่งพบว่าค่า Turbidity มีความสัมพันธ์กับค่า BOD ตามสมการที่ 5-1 สำหรับรูปที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบค่า BOD ที่จากการตรวจวัดและที่ได้จากการคำนวณ

$$\text{BOD} = 6.1785 \ln(\text{Turbidity}) + 21.146 \quad (5-1)$$



รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Turbidity และ BOD

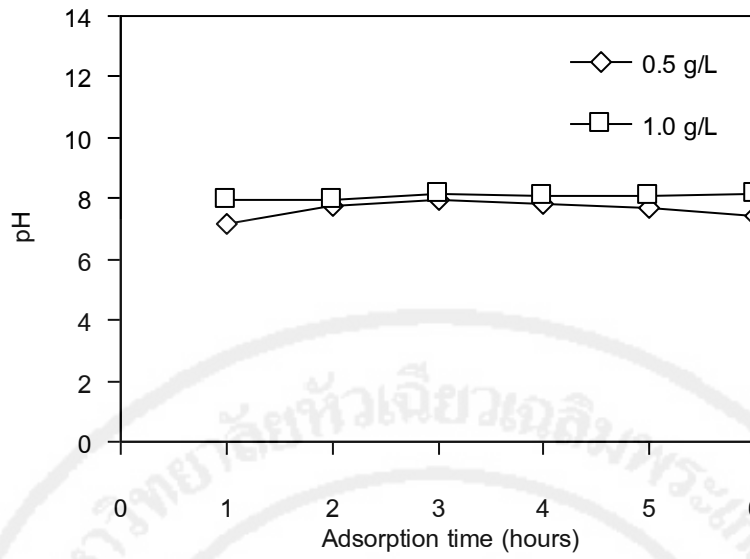


รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณจากสมการ 5-1

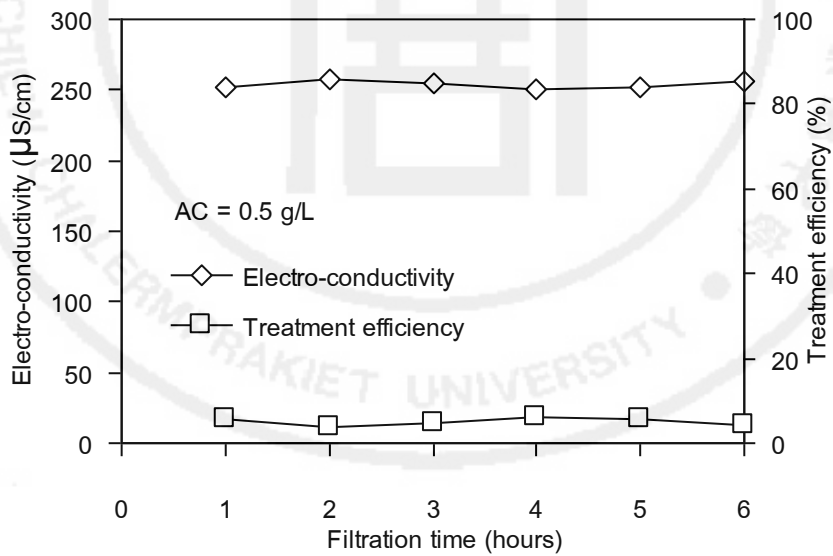
5.3 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์

5.3.1. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอนินทรีย์ (Inorganic matter)

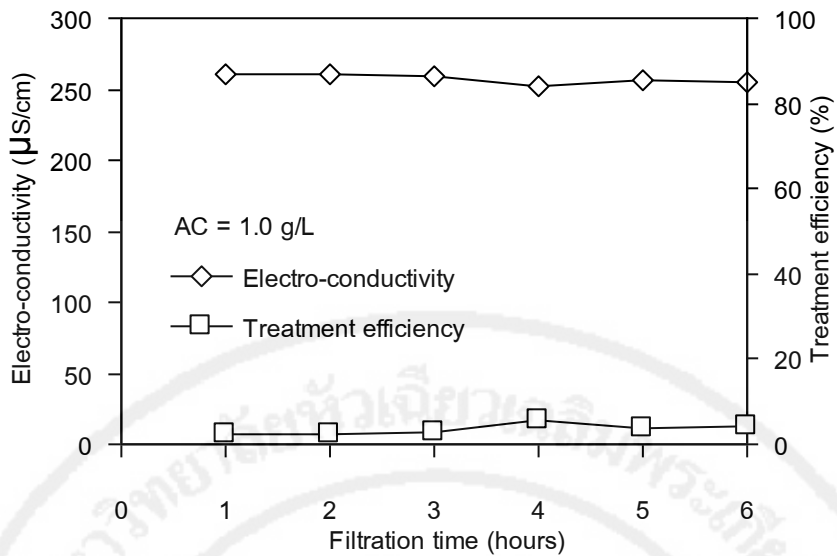
จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF) เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 และ 1.0 g/L ที่เวลาดูดซับตั้งแต่ 1 ถึง 6 hours พบว่า ค่า pH ของน้ำที่ผ่านการบำบัดค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงระหว่าง 7.63-8.06 (รูปที่ 5-9) และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าแปรปรวนอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 253.7 - 260.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (รูปที่ 5-10 และ 5-11) ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำเสียก่อนบำบัดและการบำบัดโดยให้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันเพียงอย่างเดียวในทุกการทดลอง แสดงว่าความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์และเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า



รูปที่ 5-9 ค่า pH ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 และ 1.0 g/L of reactor



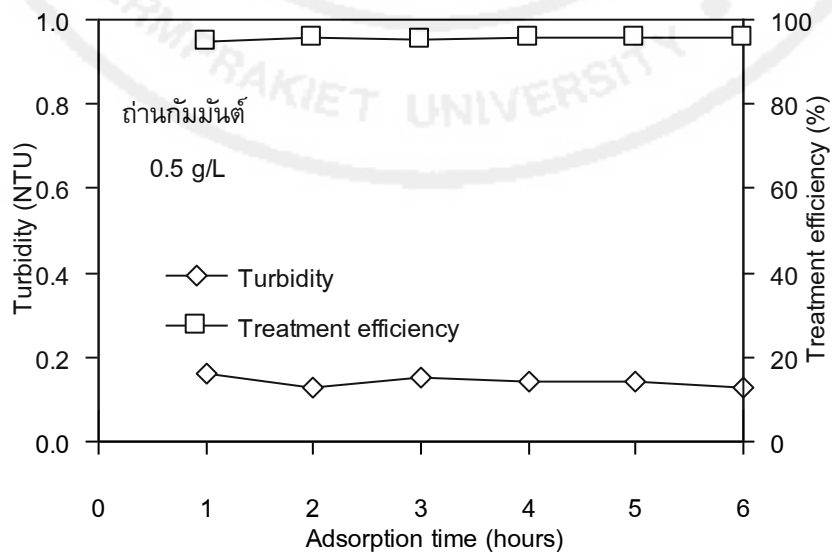
รูปที่ 5-10 Electro-conductivity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor



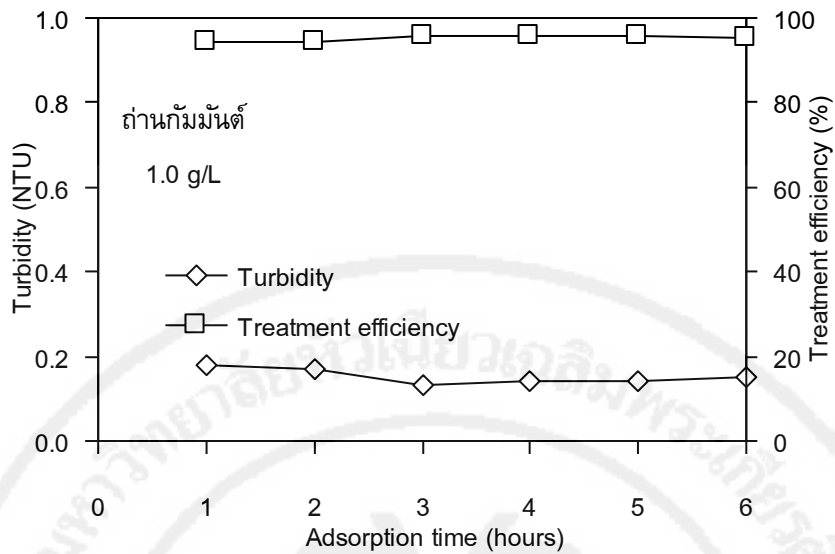
รูปที่ 5-11 Electro-conductivity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor

5.3.2. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

จากรูปที่ 5-12 และ 5-13 พบว่าค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดในกรณีที่ใช้ถ่าน 0.5 และ 1.0 g/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.141 และ 0.151 NTU หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 95.47 และ 95.15 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับกรณีของการกรองด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันโดยไม่เติมถ่านกัมมันต์ แสดงว่าความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์และเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อการกำจัดความขุ่น



รูปที่ 5-12 Turbidity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor



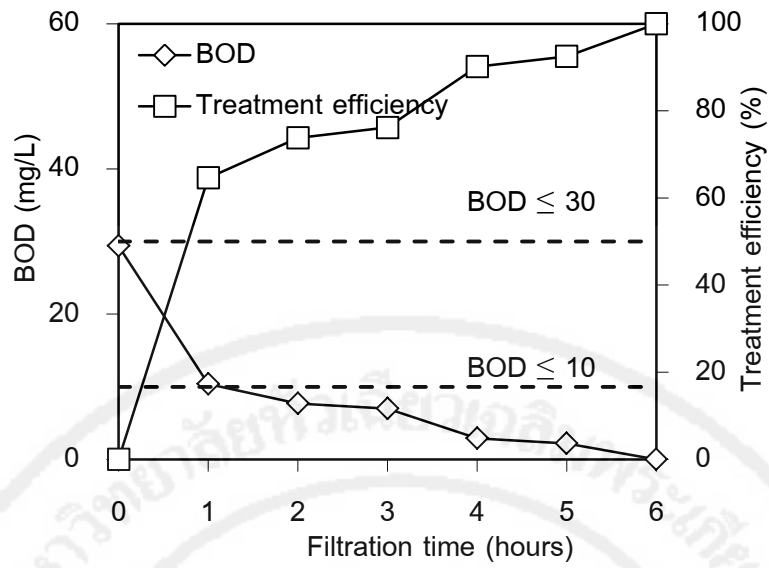
รูปที่ 5-13 Turbidity ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor

5.3.3. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (Organic matter)

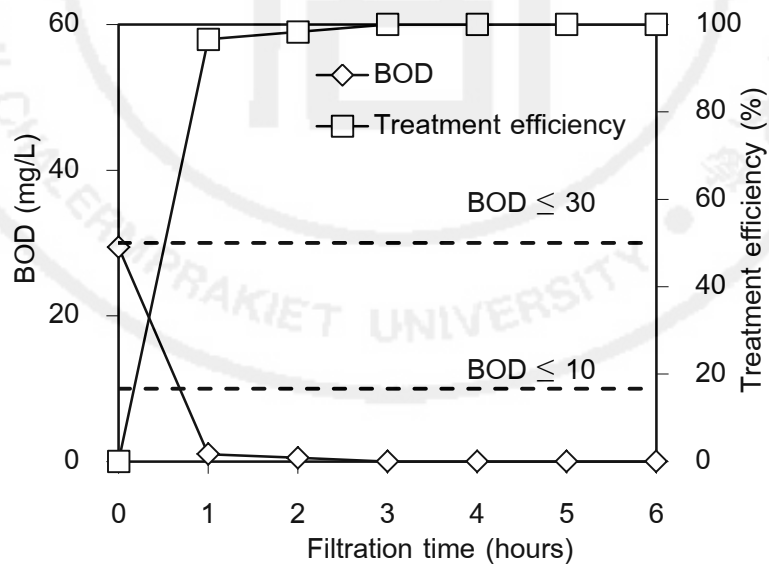
จากรูปที่ 5-14 และ 5-15 แสดงค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD ที่เวลาดูดซับระหว่าง 0-6 ชั่วโมง โดยเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 g/L ตามลำดับ

กรณีเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0.5 g/L พบว่า เมื่อเวลาเก็บกักตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป น้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่า BOD ต่ำกว่า 10 mg/L ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ การเพิ่มต้นทุนแหล่งน้ำดิบ และการเก็บกักเพื่อพักผ่อนหย่อนใจ ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษได้ แต่ถ้าหากเวลาเก็บกักน้อยกว่า 2 ชั่วโมง สามารถนำน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพไปใช้ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนแหล่งน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์

กรณีเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1.0 g/L พบว่า ระบบ AC-MF มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสูงขึ้นในขณะที่ต้องการเวลาเก็บกักน้อยลง นั่นคือเมื่อเวลาเก็บกักตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป น้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่า BOD ต่ำกว่า 10 mg/L ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ การเพิ่มต้นทุนแหล่งน้ำดิบ และการเก็บกักเพื่อพักผ่อนหย่อนใจ ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษได้



รูปที่ 5-14 ค่า BOD ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor



รูปที่ 5-15 ค่า BOD ในน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ที่เวลาดูดซับ (Adsorption time) ต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0 g/L of reactor

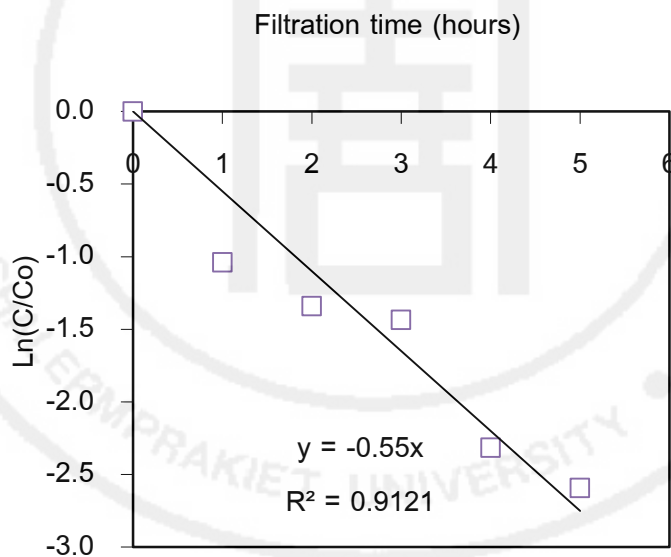
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับที่เวลาดูดซับต่าง ๆ ของ ถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 0.5 g/L of reactor พบว่าปฏิกิริยาในการดูดซับสารอินทรีย์ในรูป BOD ของ ถ่านกัมมันต์เป็นไปตามปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ดังแสดงในสมการที่ 5-2 และ 5-3

$$\frac{dC}{dt} = -kC \tag{5-2}$$

ทำการอินทิเกรตจาก $t = 0$ ถึง $t = t$ จะได้

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt \tag{5-3}$$

จากสมการที่ 5-3 สามารถหาค่าคงที่ k ได้จากความชันของกราฟเส้นตรงที่ plot ระหว่างค่า $\ln(C/C_0)$ และ t ซึ่งเท่ากับ 0.55 โดยมี R^2 เท่ากับ 0.9121 ดังแสดงในรูปที่ 5-16

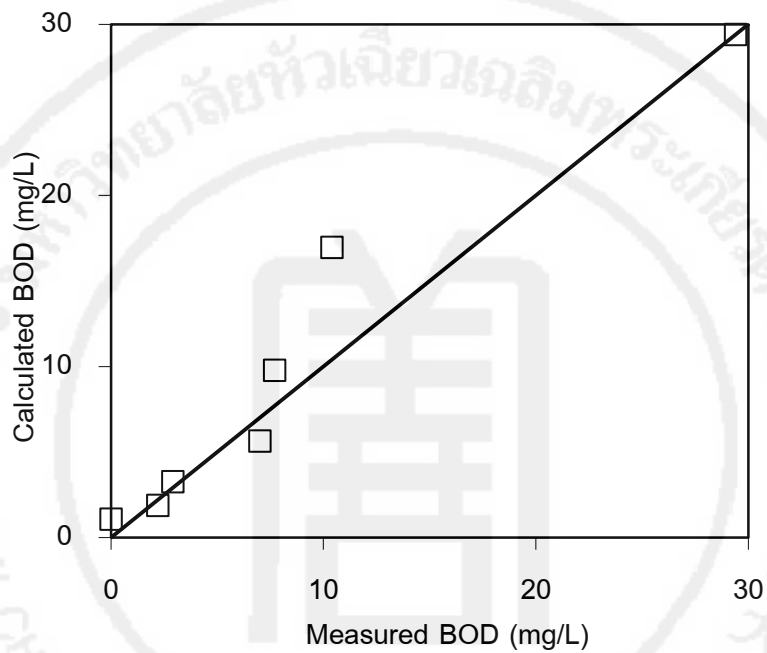


รูปที่ 5-16 การคาดการณ์ค่า BOD ของน้ำผ่านการบำบัด (ใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor)

ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD ในน้ำทิ้ง และ เวลาที่ใช้ในการดูดซับของกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0.5 g/L of reactor ดังแสดงในสมการที่ 5-4 ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD ที่ได้จากคำนวณและค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัด แสดงในรูปที่ 5-17

$$BOD_{\text{effluent}} = BOD_{\text{influent}} e^{(-0.55 \text{ HRT})} \tag{5-4}$$

เมื่อกำหนดให้	BOD _{effluent}	=	ค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/L)
	BOD _{influent}	=	ค่า BOD ของน้ำที่เข้าระบบบำบัด (mg/L)
	HRT	=	เวลากักพักทางชลศาสตร์ (hour)
		=	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ



รูปที่ 5-17 การคาดการณ์ค่า BOD ของน้ำผ่านการบำบัด (ใช้ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.5 g/L of reactor)

5.4 กลไกการอุดตันบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

5.4.1. พฤติกรรมการอุดตันบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-10 นำมาใช้ในการคำนวณหาค่า Foulant resistance (R_F) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอุดตันที่เกิดขึ้นบน MF ทั้งนี้ค่า R_F สามารถคำนวณได้จากทฤษฎี Resistance in series model ดังสมการที่ 5-6

$$R_F = \frac{\Delta P}{\eta \cdot J} - R_M \quad (5-6)$$

โดยที่ R_M สามารถคำนวณได้จากการนำผลการตรวจวัดค่า Pure water flux (J_w) ที่ได้จากการทดลองกรอง MF ด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Pure water) ดังสมการที่ 5-7

$$R_M = \frac{\Delta P}{\eta \cdot J_w} \quad 5-7$$

จากรูปที่ 5-18 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า R_f ระหว่างกรณีการทดลองที่เติมถ่านกัมมันต์ 0, 0.5 และ 1.0 g/L of reactor พบว่ามีค่า R_f อยู่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $0.0-2.9 \times 10^{11}$, $0.0-1.9 \times 10^{11}$ และ $0.0-1.7 \times 10^{11} \text{ m}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์มีส่วนช่วยลดการอุดตันที่เกิดขึ้นบน MF

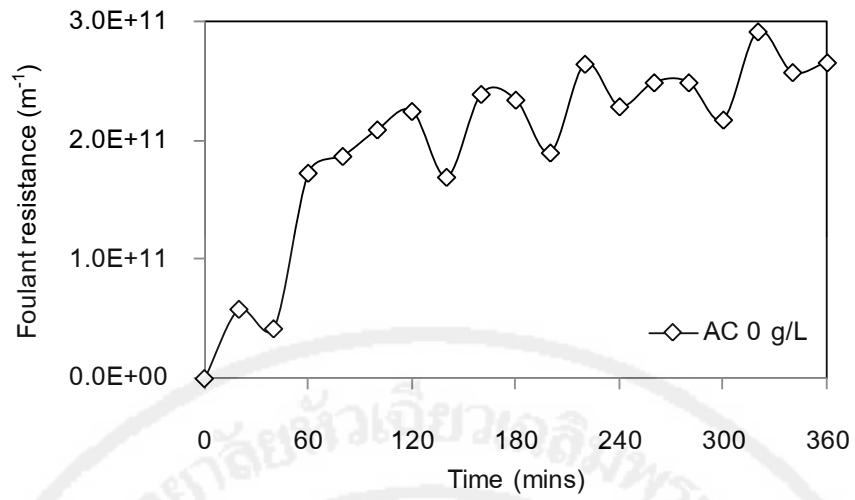
นอกจากนี้ยังพบว่าค่า R_f มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลอง หลังจากนั้นพบว่าการแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการอุดตันที่เกิดขึ้นบน MF ในกรองระยะแรกและการกรองระยะยาวเกิดจากกลไกในการอุดตันที่แตกต่างกัน

5.4.2. กลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นในระยะแรก

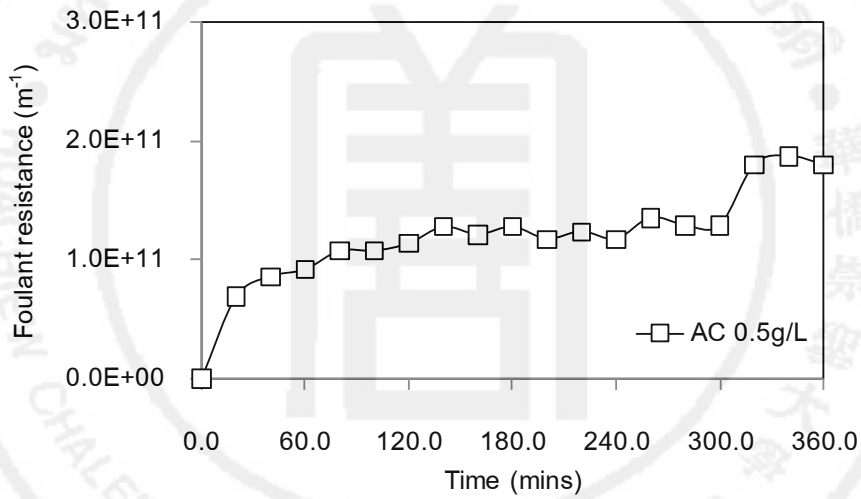
การศึกษาการอุดตันที่เกิดขึ้นในระยะแรก เป็นศึกษาเพื่ออธิบายกลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเดินระบบฯ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของอาคารซิน โสภณพนิช ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการอุดตันบน MF พบว่ามีสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนเฉลี่ยของ MF ($0.08 \mu\text{m}$) เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 5-6) จึงทำให้เกิดการอุดตันในระยะที่ 1 เป็นการแบบอุดตันบนรูพรุนของ MF ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง Complete pore blocking (สมการแสดงในตารางที่ 2-3) ดังนี้

$$\frac{V_w}{V_{w0}} = \exp^{-kt} \quad 5-8)$$

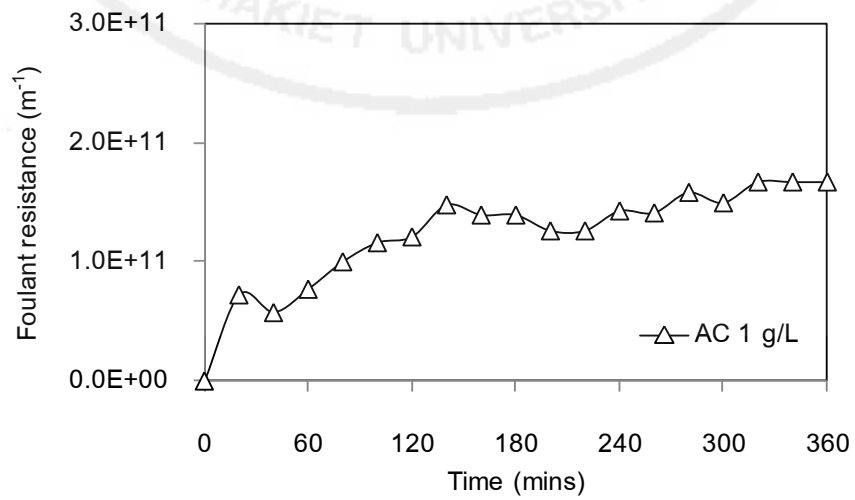
$$\ln\left(\frac{V_w}{V_{w0}}\right) = -kt \quad 5-9)$$



ก) กรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์



ข) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L



ค) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L

รูปที่ 5-18 การเปลี่ยนแปลงของ Foulant resistance (R_F)

อัตราการอุดตันที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีสามารถศึกษาได้จากการ plot กราฟระหว่างค่า $\ln\left(\frac{V_w}{V_{w0}}\right)$ และ เวลาในการกรอง (time, mins) ซึ่งความลาดชันของกราฟเส้นตรงที่ได้จากสมการคือค่าสัมประสิทธิ์ของการอุดตัน (k , min^{-1}) โดยที่ V_w หมายถึง permeability ของ MF ณ เวลาใด ๆ ($\text{L/h.m}^2.\text{bar}$) ส่วน V_{w0} หมายถึง permeability ของ MF ขณะเริ่มต้นการทดลอง

จากรูปที่ 5-19 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการณ์การอุดตัน และค่าสัมประสิทธิ์การอุดตันแบบในระยะแรกของการเดินระบบ พบว่า

- 1) กรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Complete pore blocking ในช่วงเวลา 60 นาทีแรกของการเดินระบบ ซึ่งมีค่า k เท่ากับ 0.00631 min^{-1} ($R^2 = 0.79$)
- 2) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Complete pore blocking ในช่วงเวลา 60 นาทีแรกของการเดินระบบ และมีค่า k เท่ากับ 0.00527 min^{-1} ($R^2 = 0.69$)
- 3) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Complete pore blocking ในช่วงเวลา 140 นาทีแรกของการเดินระบบ และมีค่า k เท่ากับ 0.0023 min^{-1} ($R^2 = 0.73$)

พฤติกรรมการณ์การอุดตันในระยะแรก แสดงให้เห็นว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์มีส่วนช่วยค่าสัมประสิทธิ์การอุดตันแบบ Complete pore blocking ที่เกิดขึ้นบน MF ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองยาวนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมถ่านกัมมันต์จะช่วยดูดซับสารอินทรีย์มาเก็บอยู่ในรูพรุนของถ่าน ซึ่งเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการอุดตัน (Organic foulant) จึงทำให้การอุดตันในระยะที่ 1 ลดต่ำลงในกรณีที่มีการเติมถ่านกัมมันต์

5.4.3. กลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นในการเดินระบบระยะยาว

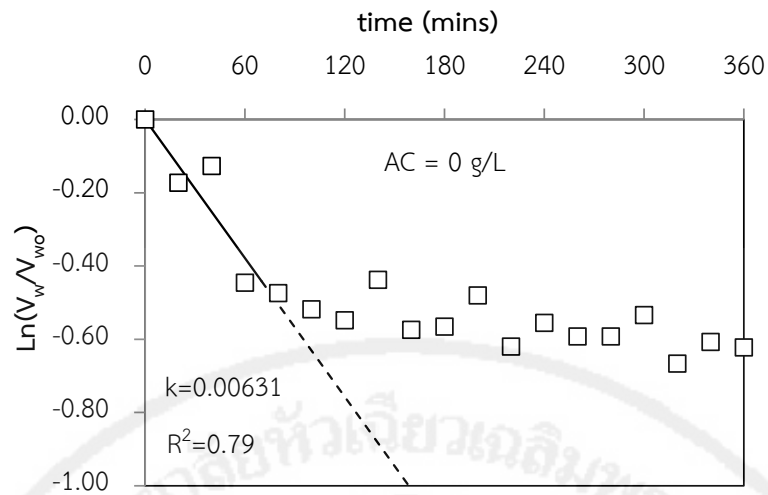
การศึกษาการอุดตันที่เกิดขึ้นในการเดินระบบระยะยาว เป็นศึกษาเพื่ออธิบายกลไกการอุดตันที่เกิดหลังจากการเกิดการอุดตันแบบ Complete pore blocking แล้ว ซึ่งเป็นการอุดตันที่เกิดจากการอุดตันแบบ Cake filtration ซึ่งแสดงในตารางที่ 2-3

อัตราการอุดตันที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีสามารถศึกษาได้จากการ plot กราฟระหว่างค่า $(V_w^{-2} - V_{w0}^{-2})$ และ เวลาในการกรอง (time, mins) ซึ่งความลาดชันของกราฟเส้นตรงที่ได้จากสมการคือค่าสัมประสิทธิ์ของการอุดตัน (k_c , min^{-1}) โดยที่ V_w หมายถึง permeability ของ MF ณ เวลาใดๆ ($\text{L/h.m}^2.\text{bar}$) ส่วน V_{w0} หมายถึง permeability ของ MF ขณะเริ่มต้นการทดลอง

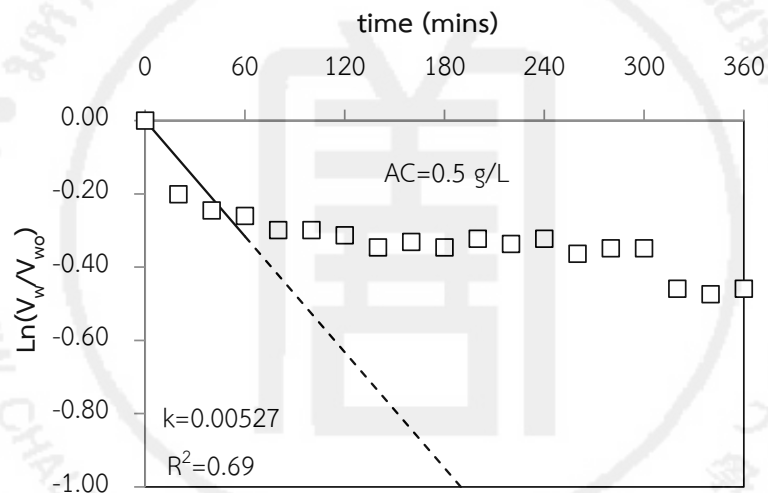
จากรูปที่ 5-20 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการอุดตัน และค่าสัมประสิทธิ์การอุดตันแบบในระยะเวลาของการเดินระบบ พบว่า

- 1) กรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Cake filtration ตั้งแต่เวลา 60 นาทีของการเดินระบบเป็นต้นไป ซึ่งมีค่า k_c เท่ากับ $1.78 \times 10^{-9} \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.57$)
- 2) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Cake filtration ตั้งแต่เวลา 60 นาทีของการเดินระบบเป็นต้นไป ซึ่งมีค่า k_c เท่ากับ $1.30 \times 10^{-9} \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.71$)
- 3) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลง permeability ของ MF สอดคล้องกับแบบจำลอง Cake filtration ตั้งแต่เวลา 140 นาทีของการเดินระบบเป็นต้นไป ซึ่งมีค่า k_c เท่ากับ $1.62 \times 10^{-9} \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.80$)

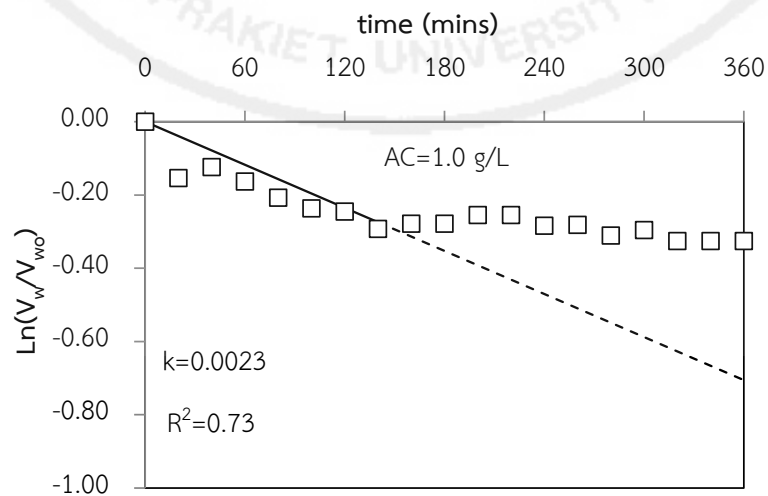
พฤติกรรมการอุดตันในระยะเวลา แสดงให้เห็นว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงในถังปฏิกรณ์มีส่วนช่วยค่าสัมประสิทธิ์การอุดตันแบบ Cake filtration ที่เกิดขึ้นบน MF เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า k_c ระหว่างกรณีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 และ 1.0 g/L จะเห็นได้ว่าการเติมถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะทำให้เกิดการอุดตันแบบ Cake filtration ได้เร็วกว่า



ก) กรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์

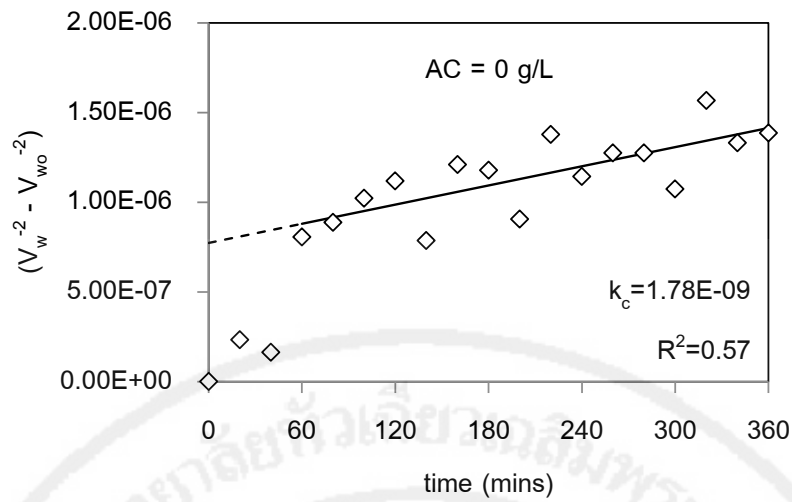


ข) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L

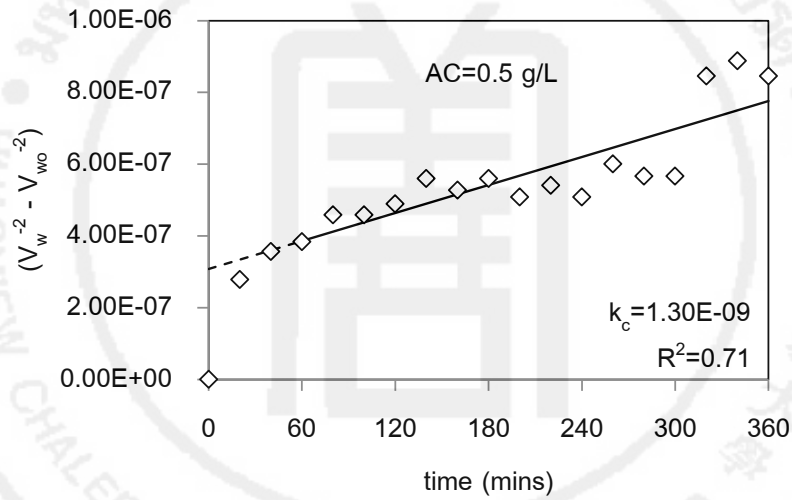


ค) กรณีเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L

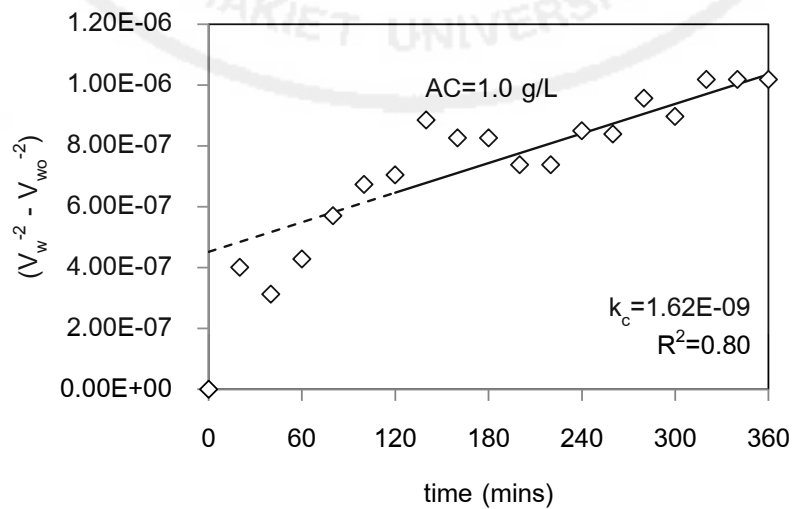
รูปที่ 5-19 การอุดตันแบบ Complete pore blocking บน MF



ก) กรณีนีไม่เติมถ่านกัมมันต์



ข) กรณีนีเติมถ่านกัมมันต์ 0.5 g/L



ค) กรณีนีเติมถ่านกัมมันต์ 1.0 g/L

รูปที่ 5-20 การดูดซับแบบ Cake filtration บน MF

5.5 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์สำหรับเพิ่มศักยภาพ ในการนำน้ำเสียจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของอาคารซิน โสภณพณิช มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และไม่มีความเป็นพิษหากนำไปใช้เพาะปลูก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์ แต่ควรดำเนินการฆ่าเชื้อโรคก่อนนำกลับไปใช้
2. เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีมาก และมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก่อนการปรับปรุงคุณภาพส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ประเภทแขวนลอย ซึ่งมีสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณเท่ากับ 0.71 และน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสามารถนำกลับไปใช้ในกิจกรรมการเพิ่มต้นทุนน้ำธรรมชาติ และการปรับปรุงภูมิทัศน์
3. การใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (MF) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ สามารถตรวจสอบค่าประมาณ BOD ของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ได้ด้วยการคำนวณจากค่า Turbidity โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ Turbidity [$BOD = 6.1785 \ln(\text{Turbidity}) + 21.146$]
4. ระบบไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ (AC-MF) มีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดสารอินทรีย์ แต่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดค่าความขุ่นและสารอินทรีย์ กรณีเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 0.5 พบว่า เมื่อเวลาเก็บกักตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป น้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่า BOD ต่ำกว่า 10 mg/L (สามารถนำกลับไปใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ การเพิ่มต้นทุนแหล่งน้ำดิบ และการเก็บกักเพื่อพักผ่อนหย่อนใจ) ส่วนกรณีเติมถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1.0 g/L พบว่า ต้องการเวลาเก็บกักตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป
5. กลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นบนเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ประกอบด้วย
1) ระยะแรกเป็นการแบบอุดตัน Complete pore blocking ซึ่งการเติมถ่านกัมมันต์จะช่วยดูดซับสารอินทรีย์มาเก็บอยู่ในรูพรุนของถ่าน ซึ่งเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการอุดตัน (Organic foulant) จึงทำให้การอุดตันในระยะที่ 1 ลดต่ำลงในกรณีที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 2) ระยะยาวเป็นการอุดตันแบบ Cake filtration ซึ่งการเติมถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะทำให้เกิดการอุดตันแบบ Cake filtration ได้เร็วกว่า

5.6 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. ควรทำการทดลองในระยะยาว เพื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบ
2. ควรขยายขนาดของระบบเป็น Pilot scale เพื่อตรวจสอบค่าเดินระบบและบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นจริง ก่อนการขยายผลไปใช้จริง



บรรณานุกรม

- กนกอร ศรีจันทพงษ์ และคณะ. (2551) รายงานการวิจัย การศึกษาคุณภาพน้ำในคลองชวดหมั่น. สมุทรปราการ : สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2551) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535. [online] Available : <http://www.pcd.go.th> (15 สิงหาคม 2551).
- กรมควบคุมมลพิษ. (2552). คู่มือแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำเสีย/น้ำทิ้ง จากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชน. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548) กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. [online] Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html (28 มีนาคม 2558).
- เกษมา นั้บถือดี และคณะ. (2551) รายงานการวิจัย การทดสอบความเป็นพิษของน้ำโดยใช้เมล็ดข้าวเป็นตัวชี้วัด. สมุทรปราการ : สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2547). วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 5. นนทบุรี : เอส.อาร์.พรีนติ้ง แมสโปรดักส์.
- แก้ว กังสดาลอำไพ. (2546) พิษวิทยาทางอาหารและโภชนาการ. กรุงเทพมหานคร : มา ฉลองคุณซีเอสบี.
- มันลิน ตันจุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มณฑล เลิศคนาวนิชกุล และคณะ. (2549) “การศึกษาฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์ในยาสีฟันด้วยวิธีเอมส์” วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด สำนักวิชาสหเวช ศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 18 หน้า 46-55.

- รังสรรค์ ตาลช้อย และคณะ. (2550) รายงานการวิจัย การศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ (Study of Wastewater Treatment Efficiency in Huachiew Chalermprakiet University). สมุทรปราการ : สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- ทองใบ เวชพันธ์. (2541) ผลของน้ำชะมูลฝอยและน้ำกากส่าต่อการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจบางชนิด. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (อนามัยสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธนรัตน์ ก.จันทราภานนท์. (2548) การศึกษาฤทธิ์ด้านการก่อกลายพันธุ์ของผักตระกูลกะหล่ำบางชนิด โดยใช้วิธีทดสอบของเอมส์ในสภาวะที่เป็นกรด. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อรดี มีแก้ว และคณะ. (2549) รายงานการวิจัย การศึกษาการจัดการน้ำเสียของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ (Study of Wastewater Management at Huachiew Chalermprakiet University). สมุทรปราการ : สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ และคณะ. (2544) “ฤทธิ์ก่อการกลายและฤทธิ์ด้านการกลายของสารสกัดสมุนไพรนนาง, สันโศก และหญ้าหวานในการทดสอบเอมส์” *เชียงใหม่เวชสาร*. 40(3) หน้า 147-153.
- Adham, S.S., et al. (1991) “Predicting and Verifying Organics Removal by PAC in an Ultrafiltration System”. *J. AWWA*. 83(12) page 81–91.
- APHA, AWWA and WEF. (1998) **Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed.** Washington : American Public Health Association.
- Chino Mitsuo et al. (2004) “The amount of heavy metals derived from domestic sources in Japan” *Water, Air, & Soil Pollution*. 57-58 page 829-837.
- Dialynas, E. and E. Diamadopoulos. (2008) “Integration of immersed membrane ultrafiltration with coagulation and activated carbon adsorption for advanced treatment of municipal wastewater” *Desalination*. 230 page 113–127.
- Dialynas, E. et al. (2008) “Advanced treatment of the reverse osmosis concentrate produced during reclamation of municipal wastewater” *Water Research*. 42 page 4603–4608.
- Eckenfelder, W.W. (1989) **Industrial Water Pollution Control**. International edition 1989. Singapore : McGraw-Hill.

- EPA : United States Environmental Protection Agency. (1996) **Prevention, Pesticides and Toxic Substances (7101) EPA 712-C-96-154. Ecological effect test guideline (OPPTS 850.4200 Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test).**
- Fersi, C., et al. (2009). "Flux decline study for textile wastewater treatment by membrane processes" **Desalination**. 244 page 321-332.
- Gai, X.J. and H.S. Kim. (2008) "The role of powdered activated carbon in enhancing the performance of membrane systems for water treatment" **Desalination**. 225 page 288-300.
- Harrelkas, F. et al. (2009) "Treatment of textile dye effluents using coagulation-flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon" **Desalination**. 235 page 330-339.
- Ho, W.S.W and K.K. Sirkar. (1992) **Membrane Handbook**. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Jia, Y. et al. (2009) "Hybrid PAC-submerged membrane system for trace organics removal II: System simulation and application study" **Chemical Engineering Journal**. 149 page 42-49.
- Kim, H. et al. (2000) "Water treatment by MF membrane with high concentration of PAC: Improvement of water quality and control of membrane fouling" **Environmental Engineering Research**. 37 page 61-71.
- Kim, H.S., et al. (2005) "Development of a microfilter separation system coupled with a high dose of powdered activated carbon for advanced water treatment" **Desalination**. 186 page 215-226.
- Kim, K.Y. et al. (2009) "A hybrid microfiltration-granular activated carbon system for water purification and wastewater reclamation/reuse" **Desalination**. 243 page 132-144.
- Lah B. et al. (2008) "Genotoxicity evaluation of water soil leachates by Ames test, comet assay, and preliminary Tradescantia micronucleus assay" **Environ Monit Assess**. 139(1-3) page 107-118.
- Lebeau, T., et al. (1998) "Immersed Membrane Filtration for The Production of Drinking Water: Combination with PAC for NOM and SOCs Removal" **Desalination**. 117 Page 219-231.

- Lee, S. et al. (2009) "Removal of 17 β -estradiol by powdered activated carbon-Microfiltration hybrid process: The effect of PAC deposition on membrane surface" **Journal of Membrane Science**. 326 page 84–91.
- Liu, H. et al. (2005) "Enhancement of organic pollutant biodegradation by ultrasound irradiation in a biological activated carbon membrane reactor" **Process Biochemistry**. 40 page 3002–3007.
- Masel, R.I. (1996) **Principles of adsorption and reaction on solid surfaces**. New York : Wiley Interscience.
- Metcalf & Eddy. (2003) **Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th ed.** Int. ed. New York : McGraw-Hill Inc.
- Mortelmans K. and Zeiger E. (2000) "The Ames *Salmonella*/microsome mutagenicity assay" **Mutat Res**. 20 page 29-60.
- Nandi, B.K. et al. (2009) "Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin : Kinetic and equilibrium studies" **Applied Clay Science**. 42 (3-4) page 583-590.
- NIESH. (The National Institute of Environmental Health Sciences). (2008) **The Salmonella/E. coli Mutagenicity Test or Ames Test**. [online] Available : <http://ntp.niehs.nih.gov/?objectid=16D6D969-A9F4-0B6F-2B81F2FB53BBFD3E> (June 19, 2008)
- Otsu, R. et al. (1998) "Mutagenicity of River Water in Korea" **Bull. Environ. Contam. Toxicol**. 60 page 615-619.
- Pirbazari, M. et al. (1992) "MF-PAC for Treating Waters Contaminated With Natural and Synthetic Organics" **J. AWWA**. 84(12) page 95–103.
- Purkait, M.K. et al. (2004) "Adsorption behavior of chrysoidine dye on activated charcoal and its regeneration characteristics using different surfactants" **Sep. Sci. Technol**. 39 (10) page 2419–2440.
- Purkait, M.K. et al. (2005) "Membrane filtration of leather plant effluent: Flux decline mechanism" **J. Membr. Sci**. 258 page 85–96.
- Silalahi, S.H.D. and T. Leiknes. (2009) "Cleaning strategies in ceramic microfiltration membranes fouled by oil and particulate matter in produced water" **Desalination**. 236 page 160–169.
- Snyder, S.A. et al. (2006) "Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals" **Desalination**. 202 page 156–181.

- Song K.Y. et al. (2009) "Coupling effect of 17 β -estradiol and natural organic matter on the performance of a PAC adsorption/membrane filtration hybrid system" **Desalination**. 237 Page 392–399.
- Srisukphun, T. (2009). **Study of Fouling Mechanism and Fouling Indicators of Reverse Osmosis Membrane for Enhancing Reuse Potential of Wastewater from Textile Industry**. Doctoral Thesis. D.Eng. (Environmental Engineering). Bangkok : Kasetsart University.
- Srisukphun, T., et al. (2009) "Modeling of RO Flux Decline in Textile Wastewater Reclamation Plants using Variable Fouling Index" **Separation Science and Technology**. 44 page 1–18.
- Suzuki, T. et al. (1998) "Removal of soluble organics and manganese by a hybrid MF hollow fiber membrane system" **Desalination**. 117 page 119–129.
- Prechthai T. et al. (2008) "Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site" **Journal of Hazardous Materials**. 156 page 86–94.
- Ujang Z. et al. (2002) "Comparative study on microbial removal in immersed membrane filtration (IMF) with and without powdered activated carbon (PAC)" **Water Science and Technology**. 46 (9) Page 109–115.
- Varella S.D. et al. (2004) "Mutagenic activity in waste from an aluminium products factory in *Salmonella typhimurium*/microsome assay" **Toxicol in vitro**. 18 page 895-900.
- Wang W. and J.M. William. (1988) "Screening and biomonitoring of industrial effluents using Phytotoxicity test" **Environ. Toxicol. chem.** 7 page 645 – 652.
- Wang, W. and P.H. Keturi. (2004) "Comparative seed germination tests using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample" **Journal of Water, Air, & Soil Pollution**. 52 page 369-376.
- Zularisam, A.W. et al. (2009) "Application of coagulation–ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: Optimization of operating conditions using experimental design" **Separation and Purification Technology**. 65 page 193–210.



ภาคผนวก ก
รายการคำนวณระบบ AC-MF

ข้อมูลการออกแบบ

Membrane model: MF (Toray; Membray)

ขนาดรูพรุน	=	0.08	μm
พื้นที่ผิวเยื่อกรอง	=	0.114	m ²
ขนาด	=	0.20 ^W x 0.30 ^H	m
อัตราการกรองที่แนะนำ	<	0.75	m/d

การออกแบบ

อัตราการกรองที่ใช้ในการทดลอง	=	0.1-0.8	m/d
เวลาในการกรองต่อการทดลอง	=	6	h
อัตราการไหลสำหรับการกรอง 0.1 m/d	=	0.5	L/h
	=	2.9	L/batch
อัตราการไหลสำหรับการกรอง 0.2 m/d	=	1.0	L/h
	=	5.7	L/batch
อัตราการไหลสำหรับการกรอง 0.4 m/d	=	1.9	L/h
	=	11.4	L/batch
อัตราการไหลสำหรับการกรอง 0.8 m/d	=	3.8	L/h
	=	22.8	L/batch
ขนาดถังปฏิกรณ์	=	0.30 ^W x 0.3 ^L x 0.45 ^D x 0.55 ^H	
โชนกการเกิดปฏิกิริยา	=	0.15 ^W x 0.3 ^L x 0.45 ^D	
โชนกเก็บ	=	0.2 ^W x 0.3 ^L x 0.45 ^D	
ปริมาตร	=	20.25	L
เวลาเก็บกักที่อัตราการกรอง 0.1 m/d	=	42.6	h
เวลาเก็บกักที่อัตราการกรอง 0.2 m/d	=	21.3	h
เวลาเก็บกักที่อัตราการกรอง 0.4 m/d	=	10.7	h
เวลาเก็บกักที่อัตราการกรอง 0.8 m/d	=	5.3	h



ภาคผนวก ข
วิธีการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

ตอนที่ 1 การเตรียมแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบเอมส์

1. การเตรียมแบคทีเรีย

1.1 นำเชื้อ *Salmonella* Typhimurium สายพันธุ์ TA98 และ TA100 ซึ่งเก็บที่ -80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เลี้ยงในอาหาร Oxoid nutrient broth No. 2 ที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง

1.2 เคลือบผิวหน้าอาหาร minimal glucose agar plate ด้วยแอมพิซิลินเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ปริมาตร 0.1 มิลลิเมตร ฮิสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.3 ไมโครลิตร และไบโอตินเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิเมตร แล้วทิ้งให้แห้ง

1.3 ใช้ loop ต่เชื้อ *S. Typhimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100 ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยง Oxoid nutrient broth No. 2 จากนั้น streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมในข้อ 1.2 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

1.4 เมื่อครบ 48 ชั่วโมง ให้ใช้ loop ต่บนโคโลนีที่เด่นชัดที่สุดแล้วนำไปเลี้ยงในอาหาร Oxoid nutrient broth No. 2 ปริมาณ 12 มิลลิเมตรที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จะได้ fresh overnight culture

1.5 แบ่งเก็บส่วนเล็กๆ (aliquot) ลงในหลอดพลาสติกทนความเย็น โดยเติมกลีเซอรอล ปริมาตร 600 ไมโครลิตร และแบคทีเรีย 300 ไมโครลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็น stock

ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณสมบัติแบคทีเรีย

1. ความต้องการกรดอะมิโนฮิสทีดีน (Histidine requirement)

1.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate

1.2 เคลือบผิวหน้าอาหารด้วยฮิสทีดีนไฮโดรคลอไรด์และไบโอติน ดังนี้

งานที่ 1 ไม่ใส่ฮิสทีดีนไฮโดรคลอไรด์และไบโอติน

งานที่ 2 ใส่ไบโอตินเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร

งานที่ 3 ใส่ฮิสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.3 ไมโครลิตร

งานที่ 4 ใส่ฮิสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.3 ไมโครลิตรและใส่ไบโอตินเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร

1.3 นำ single colony ที่เลี้ยงไว้ streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 4 งาน บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

1.4 แบคทีเรียที่เจริญในงานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 4 เท่านั้น จึงสามารถนำไปใช้ในการทดสอบฤทธิ์ก่อ
กลายพันธุ์ได้

2. การตรวจ *rfa* mutation

2.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate

2.2 ผสมฮีสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร กับเชื้อแบคทีเรีย
ปริมาณ 0.3 ไมโครลิตร เข้าด้วยกัน จากนั้นเติม top agar ที่ใส่สารผสมฮีสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.5
มิลลิโมลาร์และไปโอดินเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 10 มิลลิลิตรต่อ top agar ปริมาตร 100
มิลลิลิตร แล้วเทส่วนผสมลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate ที่เตรียมไว้

2.3 จุ่มกระดาษกรองที่ตัดที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-9 มิลลิเมตรที่ผ่านการฆ่าเชื้อ
แล้วลงใน 0.1% คริสตอลไวโอเล็ต และค่อยๆวางลงบนจานผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อในข้อ 2.2 บ่มที่
อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

2.4 ตรวจสอบผลการทดสอบโดยสังเกตบริเวณรอบๆกระดาษกรองที่ชุบ 0.1% คริสตอลไวโอเล็ต ถ้า
เชื้อมี *rfa* mutation จะเห็น clear zone คือ ไม่มีแบคทีเรียเจริญอยู่ สามารถนำแบคทีเรีนี้นี้มาทดสอบ
ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ได้

3. การตรวจสอบ R-factor

3.1 เตรียมแอมพิซิลินเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร

3.2 จุ่มกระดาษกรองที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ
แล้วลงในสารละลายแอมพิซิลินที่เตรียมไว้

3.3 ค่อยๆ วางแผ่นแอมพิซิลินลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate ที่เตรียม
ไว้ดังในข้อ 2.2

3.4 นำงานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบผลการทดสอบโดย
สังเกตการเจริญของแบคทีเรียบริเวณรอบๆ แผ่นแอมพิซิลิน เพราะมี R-factor ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียนี้
ต่อยาแอมพิซิลิน สามารถนำแบคทีเรีนี้นี้มาทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ได้

4. การตรวจสอบ *uvr B* mutation

4.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate

4.2 เคลือบผิวหน้าอาหาร minimal glucose agar plate ด้วยฮีสทีดีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.1
โมลาร์ ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร และไปโอดินเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตรแล้วทิ้งให้
แห้ง

4.3 ใช้ loop และเชื้อแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Oxoid nutrient broth No. 2 ที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง แล้วขีดลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal glucose agar plate ที่เตรียมไว้ดังข้อ 4.2 เป็นเส้นตรง 2 เส้นที่ขนานกัน

4.4 นำจานเพาะเชื้อวางใต้หลอดอัตราไวโอเล็ตโดยวางห่างจากหลอดกำเนิดแสง 30 เซนติเมตร แล้วเปิดฝาจานเพาะเชื้อครึ่งหนึ่งเพื่อให้แบคทีเรียถูกแสงอัตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 8 วินาที

4.5 นำจานเพาะเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

4.6 แบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็น *uvr B* mutation จะไม่สามารถเจริญเมื่อถูกแสงอัตราไวโอเล็ต แต่ด้านที่ไม่ถูกแสงอัตราไวโอเล็ตจะเจริญเป็นโคโลนีให้เห็น สามารถนำแบคทีเรียนี้มาทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ได้

ตอนที่ 3 การทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

1. ตัวอย่างน้ำทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 รหัส (0-5), 5 hr

ตัวอย่างที่ 2 รหัส (L20-6), 6 hr. AC = 20 mg/L

ตัวอย่างที่ 3 รหัส (L5-6), 6 hr. AC = 5 g/L

ตัวอย่างที่ 4 รหัส RL

ตัวอย่างที่ 5 รหัส HCU อ.ชิน

นำตัวอย่างน้ำ 5 ตัวอย่างๆ ละ 20 มิลลิลิตร กรองด้วยหัวกรอง whatman 0.45 ไมครอน ใส่ในหลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ

2. แบคทีเรียทดสอบ

เชื้อที่ใช้ทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำและตะกอนดิน ได้แก่ *S. Typhimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100 ซึ่งถูกชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลำดับดีเอ็นเอตรงส่วนของยีน histidine (*his-*) แบบ frameshift mutation และ basepair substitution ตามลำดับ

3. อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เพื่อทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ ได้แก่ Oxoid nutrient broth No.2, minimal glucose agar plate, Vogel Bonner medium E (VB salt) และ Top agar

4. สารเคมีและสารก่อกลายพันธุ์

4.1 สารเคมีได้แก่ sodium phosphate buffer (pH 7.4), histidine และ biotin

4.2 สารก่อกลายพันธุ์ ได้แก่ 1-aminopyrene และ sodium azide

5. การทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จากตัวอย่างน้ำ

5.1 ใช้วิธี preincubation ของการทดสอบด้วยวิธีเอมส์ชนิดไม่มี metabolic activation ตามวิธีของ Yahagi และคณะ

5.2 นำเชื้อ *S. Typhimurium* TA98 และ TA100 จาก stock ที่เก็บในอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Oxoid nutrient broth No.2 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร บ่มเชื้อแบบเขย่า (shaking incubator) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที นาน 12 ชั่วโมง

5.3 นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงของเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.3 ซึ่งมีปริมาณเชื้อ 10^6 - 10^8 เซลล์ต่อ มิลลิลิตร

5.4 นำตัวอย่างทั้งหมดใส่ในหลอดแก้วปราศจากเชื้อ ตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร จากนั้นเติม sodium phosphate buffer (pH 7.4) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร

5.5 เติมเชื้อที่ใช้ทดสอบ 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มใน shaking incubator ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

5.6 จากนั้นเติม Molten top agar ที่มีส่วนผสมของสารละลาย 0.5 มิลลิโมลาร์ histidine/biotin ในอัตราส่วน histidine/biotin: top agar เท่ากับ 1:10) หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยเขย่าเบาๆ แล้วเทลงบนผิวหน้าอาหาร Minimal glucose agar plate ให้กระจายสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5.7 นับจำนวนโคโลนีที่กลายพันธุ์ (revertant colony) ที่สามารถเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มี histidine ถ้าจำนวน revertant colony มีมากกว่า 2 เท่าของ spontaneous colonies เทียบกับ negative control แสดงว่าตัวอย่างน้ำนั้นน่าจะมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

5.8 สำหรับ positive control จะมีเฉพาะสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐาน ได้แก่ 1-aminopyrene และ sodium azide ชนิดละ 100 ไมโครลิตร จากนั้นเติม sodium phosphate buffer (pH 7.4) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และเชื้อ 100 ไมโครลิตร

5.9 สำหรับ negative control เตรียมเช่นเดียวกันโดยมีน้ำกลั่นปริมาตร 100 ไมโครลิตร แต่ไม่มีสารก่อกลายพันธุ์มาตรฐานทั้งสองชนิด

ประวัติย่อผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล ดร.เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์
ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.ด. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ : 02-312-6415

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-นามสกุล ดร. วรางคณา วิเศษมณี ลี
ประวัติการศึกษา วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
M.Sc. (Tropical Medicine) มหาวิทยาลัยมหิดล
Ph.D. (Environmental Engineering and Management) สถาบัน
เทคโนโลยีแห่งเอเชีย
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ : 02-312-6415