



รายงานการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วย
กระบวนการร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิลเตรชัน
(Enhancement of water recycle with combined
ozonation and ultrafiltration processes)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วย
กระบวนการร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิลเตรชัน
(Enhancement of water recycle with combined
ozonation and ultrafiltration processes)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนทางการเงิน การวิจัยแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งตลอดมา จนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

และขอขอบคุณ คณาจารย์ และบุคลากร สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด และทั้ง ให้ใช้สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำการวิจัย

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายฝ่ายซึ่งไม่อาจกล่าวนามได้ทั้งหมด คณะผู้จัดทำ โครงการวิจัยขอขอบคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้

บุญชัย วิจิตรเสถียร



บทคัดย่อ

การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถแก้ไขปัญหาการจัดการทรัพยากรน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปยังมีปริมาณมลทินในน้ำอยู่จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ น้ำที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภค ตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม การศึกษาค้นคว้าวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการร่วมระหว่างโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิลเตรชัน จากผลของปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของกระบวนการโอโซนเนชั่น โดยได้ทำการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นก๊าซโอโซน และพีเอชที่เหมาะสมในการเดินระบบ พบว่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบเพื่อเกิดปฏิกิริยาในการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับ 25 นาที ที่ความเข้มข้นของโอโซนมีค่าเท่ากับ 20 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC สูงสุด สำหรับการศึกษาค้นคว้าของเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนน้ำเพอมีเอทต่อรีเทนเททที่เหมาะสมในการเดินระบบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบที่เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าเท่ากับ 80 L/m²-hr และที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 โดยที่สภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และ DOC คิดเป็นร้อยละ 68.05 88.21 และ 84.21 ตามลำดับ ผลการศึกษาการเดินระบบร่วมระหว่างระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและกระบวนการโอโซนเนชั่นที่สภาวะเหมาะสม พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพปริมาณในการกำจัดค่า COD ร้อยละ 81.78 และสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 91.76 จากผลการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่า DOC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 mg/L ดังนั้นน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีแนวโน้มอาจจะก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by Products: DBPs) ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ : อัลตราฟิลเตรชัน โอโซนเนชั่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อ

ABSTRACT

Water recycling is an approach for managing water issues. Typically, the effluent from the secondary wastewater treatment system still has contaminants. Thus, it is necessary to apply an advanced technology for water recycling in the industrial application. The objective in this study is to investigate the efficiency of water recycling enhanced with the combination of ozonation and ultrafiltration processes. The effects of ozonation for removing natural organic compounds were performed in terms of contact time and concentration. It was found that the optimum conditions for the highest removal rate were 25 minutes of contact time and 20 mg/l of ozone. For studying the effects of permeate flux and ratios of permeate to retentate, the optimum conditions for the highest removal efficiency were the permeate flux of 80 L/m².h and permeate to retentate ratio of 25:75. The color, turbidity, and DOC removal efficiency were about 68.05%, 88.21% and 84.21%, respectively. In this study, the combination of ozonation and ultrafiltration processes resulted in the highest removal efficiency of 81.78% and 91.76% for COD and DOC, respectively. From the results, it shows that the combination process is possible to effectively remove organic compounds. However, the average value of the effluent DOC was 3.98 mg/l, implying that the wastewater effluent from the combined ozonation and ultrafiltration system could be a source for forming the disinfection-by products when water is disinfected.

Keywords: Ultrafiltration, Ozonation, Natural Organic Matter, Disinfection by Product.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลักษณะของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.2 การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่.....	7
2.3 การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน.....	9
2.3.1 ชนิดของเยื่อกรอง.....	9
2.3.2 ระบบกรองของเยื่อกรองเมมเบรน.....	11
2.3.3 ประเภทฟาวลิง.....	11
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน.....	12
2.3.5 การทำความสะอาดเยื่อกรอง.....	14
2.4 สารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	15
2.4.1 สารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัด.....	15
2.4.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	15
2.4.3 กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	16
2.5 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่น.....	18
2.5.1 ปัจจัยที่มีผลประสิทธิภาพของโอโซน.....	19
2.5.2 ปฏิกิริยาสลายตัวของโอโซน.....	20
2.5.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน.....	21
2.6 การประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	การดำเนินการวิจัย.....	27
3.2	ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	27
3.3	การสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟลอคกูเลชัน.....	29
3.4	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชั่น.....	29
3.4.1	เครื่องกำเนิดโอโซน.....	29
3.4.2	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ของกระบวนการโอโซนเนชั่น.....	30
3.5	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	31
3.5.1	ศึกษาคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย.....	31
3.5.2	เยื่อกรองเมนเบรนที่ใช้ในการศึกษา.....	31
3.5.3	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเพอมีเอทฟลักซ์.....	31
3.5.4	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสัดส่วนเพอมีเอท และเพอมีเอทต่อรีเทนเทท.....	32
3.6	การศึกษาการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	32
3.7	การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	33
4	ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	34
4.1	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	34
4.2	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชั่น.....	35
4.2.1	ผลของระยะสัมผัสในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ.....	35
4.2.2	ผลของความเข้มข้นก๊าซโอโซนในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ.....	37
4.2.3	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ.....	37
4.3	ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	39
4.4	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	39
4.4.1	ผลของการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์.....	39
4.4.2	ผลการศึกษาของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท.....	41
4.5	ผลการศึกษาการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	44
4.6	คุณลักษณะของน้ำหลังผ่านระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
รายการอ้างอิง.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ.....	5
2.2 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	6
2.3 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่.....	7
2.4 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน.....	9
2.5 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้กำจัดสารที่อุดตัน.....	14
2.6 มาตรฐานระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม.....	16
2.7 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.8 ข้อดี-เสียของระบบการผสมโอโซนกับน้ำ.....	20
2.9 ข้อดี-เสียของการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการต่าง ๆ.....	23
2.10 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรน.....	26
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาสภาวะต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการ Chemical coagulation - flocculation ด้วย PAC และ Polymer.....	29
3.2 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดโอโซน.....	29
3.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการโอโซนเนชั่น.....	30
3.4 รายละเอียดของเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้.....	31
3.5 การแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์.....	32
3.6 การแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท.....	32
3.7 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ.....	33
4.1 คุณลักษณะของน้ำที่ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	35
4.2 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำที่ จากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์.....	40
4.3 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำที่ จากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท.....	42
4.4 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....	45
4.5 คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชันและคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่.....	47
4.6 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์.....	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแบบการไหลของสารป้อนเข้า.....11
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเพอมีเอทพลาซึ่ม.....13
2.3	ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในน้ำ.....21
2.4	เปรียบเทียบกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไประบบการกรองผ่านเยื่อกรอง.....24
3.1	แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....28
3.2	กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย.....28
3.3	เครื่องกำเนิดโอโซน.....30
4.1	ปริมาณ PAC (ก) และ Polymer (ข) ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง.....34
4.2	ประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....35
4.3	ผลของความเข้มข้น DOC เริ่มต้นต่อระยะเวลาสัมผัสในกระบวนการโอโซนเนชั่น.....36
4.4	ผลของความเข้มข้นโอโซนต่อการกำจัด DOC.....37
4.5	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการกำจัด DOC.....38
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเพอมีเอทพลาซึ่ม.....39
4.7	ประสิทธิภาพในการบำบัดที่แต่ละสภาวะของเพอมีเอทพลาซึ่ม.....41
4.8	ประสิทธิภาพในการบำบัดที่การแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท.....43
4.9	สัดส่วนของการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งในแต่ละขั้นตอนที่สภาวะเพอมีเอทพลาซึ่ม เท่ากับ 80 L/m ² .h และสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75.....44
4.10	สัดส่วนของการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชัน.....46
4.11	ค่า DOC ของน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำในประเทศไทยเป็นปัญหาที่เริ่มมีมาตั้งแต่ในอดีตแสดงผลให้เห็นบ้างแล้วในบางพื้นที่ลุ่มน้ำและมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนความเสื่อมโทรมมากขึ้นในแต่ละปี สาเหตุดังกล่าวเป็นผลมาจากการขยายตัวและการพัฒนาที่ดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมและชุมชนเมืองต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ปัญหาในเชิงคุณภาพของแหล่งน้ำยังมีการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในปริมาณที่สูง และส่งผลให้ แหล่งน้ำเสื่อมโทรมลงเนื่องจากการใช้น้ำในปริมาณที่สูงขึ้นและอัตราการเกิดน้ำเสียก็สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบันยังขาดการจัดการการใช้น้ำและการปล่อยน้ำเสียสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้เกิดปัญหาและการทำลายสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้โดยวิธีการดังกล่าวจะต้องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีความยั่งยืน

การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถแก้ไขปัญหามลพิษจากการจัดการทรัพยากรน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปยังมีปริมาณมลพิษในน้ำอยู่จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ น้ำที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ในการผลิตน้ำประปาที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ที่มีค่าน้ำสูง ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปัจจุบันเน้นเพียงการกำจัดความขุ่นเพื่อให้ น้ำใส สะอาดและปราศจากเชื้อโรคหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยสารประกอบคลอรีน แต่ไม่ได้คำนึงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่เมื่อเติมคลอรีนลงไป ในน้ำซึ่งสารประกอบคลอรีนเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by Products: DBPs) อยู่ในรูปของสารประกอบในกลุ่มของ Trihalomethanes (THMs) และ Dioxin ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรงชนิดหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Marthaba et al., 2003; Crittenden et al., 2005) โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติจะประกอบด้วย สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ ระบบการกำจัดเชื้อโรคเป็นระบบที่ต้องการลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่ปนเปื้อนมากับน้ำ

อย่างไรก็ตามการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูชัน-ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน การกรอง และการฆ่าเชื้อโรคไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกได้หมด ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะบำบัดน้ำให้มีคุณภาพดีได้อีกทั้งเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่ในการดำเนินงาน และใช้สารเคมีในปริมาณที่มาก คุณภาพของน้ำที่ออกจากระบบไม่คงที่ (Parameshwaran and Visvanathan, 1998) ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการผลิตน้ำประปาเพื่อใช้แทนเทคโนโลยีปัจจุบันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงโดยเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ (1) การกรองด้วยสารกรองหลายชั้น (Multimedia Filtration) (2) การดูดซับด้วยคาร์บอน (Carbon Adsorption) (3) การเติมโอโซน (Ozonation) และ (4) การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน(Membrane Technology)

การกรองผ่านเยื่อกรอง (Membrane) เป็นวิธีการหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสียและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในอดีตนิยมใช้ กระบวนการ ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) และกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Tan and Amy, 1991; Uyak, Koyuncu, Oktem, Cakmakci, and Toroz, 2008) แต่การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยตรงนั้นจะส่งผลกระทบต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน เนื่องจากการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติต้องอาศัยกลไกการคัดขนาดของน้ำหนักโมเลกุลและขึ้นอยู่กับ ขนาดรูพรุนของเยื่อกรองเมมเบรน โดยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมี ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดความขุ่น และสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับสารอินทรีย์ธรรมชาตินั้น พบว่าไม่สามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพได้เมื่อนำน้ำดังกล่าวผ่าน กระบวนการฆ่าเชื้อโรค จากการศึกษาที่ผ่านมาของสกุลยา ทับอุไร (2554) ได้ศึกษาการนำน้ำเสียที่ผ่าน การบำบัดแล้วผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนเข้ากระบวนการกรองด้วย ระบบกรองอัลตราฟิวเตรชัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และ สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) คิดเป็นร้อยละ 67 17 และ 16 ตามลำดับ และยังพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการกรอง ด้วยอัลตราฟิวเตรชันมีสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) สูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะสามารถส่งผลการ เกิดไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร จากงานวิจัยดังกล่าวควรมีกระบวนการที่จะสามารถ กำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป สำหรับปัญหาในเรื่องของการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane Fouling) เป็นปัญหาที่สำคัญของ กระบวนการกรอง การอุดตันจะทำให้อัตราน้ำซึมผ่านเยื่อกรอง (Permeate Flux) ลดลงทำให้ต้องใช้ พลังงานสูงขึ้นเพื่อให้ได้อัตราน้ำซึมผ่านเยื่อกรองคงที่ โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน สารอินทรีย์ธรรมชาติเหล่านี้ จะสะสมบนผิวหรือช่องว่างของเยื่อกรอง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีการนำกระบวนการร่วมระหว่างการ บำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการโอโซนมาใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเตร ชันซึ่งจะสามารถลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและลดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งของกระบวนการร่วมโอโซนเนชัน และอัลตราฟิลเตรชัน

1.2.2 เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการร่วมโอโซนเนชันและอัลตราฟิลเตรชัน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 การศึกษาของงานวิจัยนี้ทำการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในเขตจังหวัด นครราชสีมาเป็นกรณีศึกษาด้วยกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันในระดับต้นแบบ

1.3.2 น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในเขตจังหวัดนครราชสีมาจะถูกปรับสภาพน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและชุดกรองคาร์บอน 100 ไมครอน

1.3.3 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยพิจารณาพารามิเตอร์ เช่น พีเอช สี ความขุ่น ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อการทำงานของระบบการกรองผ่านเยื่อกรอง และปัญหาการอุดตันเยื่อกรอง

1.4.2 เพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เกิดประโยชน์ด้วยการนำทรัพยากรน้ำที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าสูงสุด โดยคำนึงถึงคุณภาพน้ำที่ได้หลังจากการบำบัดแล้ว

1.4.3 เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตน้ำในสภาวะที่เกิดการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้งที่ไม่มีแหล่งน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินสำหรับนำมาผลิตน้ำประปา

1.4.4 สามารถนำไปใช้แทนหรือควบคู่กับกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันอาจทดแทนในบางขั้นตอนหรือทั้งกระบวนการผลิต

1.4.5 สามารถนำไปใช้เพื่อการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภคทั้งด้านชุมชนการเกษตร และอุตสาหกรรม เป็นต้น



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำที่สะอาดก่อนปล่อยทิ้งเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาแม่น้ำลำคลองเน่าเสีย โดยอาศัยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อลดหรือทำลายความสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรคต่าง ๆ ให้หมดไปหรือให้เหลือน้อยที่สุดเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่เน่าเสีย หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้อีก เนื่องจากน้ำเสียมีแหล่งที่มาแตกต่างกันจึงทำให้มีปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียแตกต่างกันไปด้วยในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียจำเป็นจะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียมีหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนในการบำบัดออกได้ดังนี้ (1) หน่วยบำบัดขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยตะแกรงเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคในการบำบัดขั้นต่อไป (2) หน่วยบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อลดมลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยและมลสารที่เกิดการลอยอยู่ที่ผิวน้ำ ซึ่งสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำไปได้เพียงบางส่วน แต่มลสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก คือ มลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยด้วยกระบวนการตกตะกอน (Precipitation) หรือกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation-Flocculation) (3) หน่วยบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นกระบวนการปรับสภาพของน้ำดิบหรือน้ำเสีย เพื่อลดสารแขวนลอยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ หน่วยบำบัดแบบนี้มักเป็นหน่วยบำบัดทางชีวภาพ โดยอาศัยจุลินทรีย์ ย่อยสลายสารอินทรีย์และจะทำให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ เช่น การเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และ (4) หน่วยบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) หรือเรียกว่าการบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment) เป็นหน่วยบำบัดที่ต้องการนำน้ำเอากลับมาใช้ใหม่ โดยมีคุณภาพที่ดีขึ้นอีก เช่น น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีสี และความขุ่น หรือสารอาหารบางอย่างตกค้างอยู่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีขึ้น (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยส่วนใหญ่จะเป็นการตกตะกอนสารแขวนลอย (Coagulation) หรือการตกตะกอนของแข็งที่ละลายในน้ำ (Precipitation) การดูดซับสารปนเปื้อน สี กลิ่น ด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การแลกเปลี่ยนประจุในน้ำเสีย การกรองสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กด้วยการกรองชั้นสูง เช่น อัลตราฟิลเตรชัน ไมโครฟิลเตรชัน และการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ การกำจัดสารอาหาร (Nutrient Removal Process) การฆ่าเชื้อโรค และการเติมโอโซน (Chlorination and Ozonation) โดยวิธีการบำบัดมลสารต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หน่วยบำบัดที่ใช้ในการกำจัดมลสารต่าง ๆ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2540)

หน่วยบำบัด สารที่ไม่ต้องการ ในน้ำเสีย	Suspended Solids (สารแขวนลอย)	Biodegradable Organic (สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายได้)	Pathogen (พวกเชื้อโรคต่าง ๆ)	Nitrogen	Phosphorus	Refractory Organic (สารอินทรีย์ที่ยากแก่การ บำบัดโดยทางชีวภาพ)	Heavy Metals	Dissolved Inorganic Solids
Activated sludge	-	✓	-	-	-	-	-	-
Ammonia stripping	-	-	-	✓	-	-	-	-
Biological-chemical Phosphorus Removal	-	-	-	-	✓	-	-	-
Carbon Adsorption	-	-	-	-	-	✓	-	-
Chemical Precipitation	✓	-	-	-	-	-	✓	-
Chemical-polymer	✓	-	-	-	-	-	-	-
Chlorination	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Coagulation- Sedimentation	-	-	-	-	-	-	-	-
Electro Dialysis	-	-	-	-	-	-	-	✓
Filtration	✓	-	-	-	-	-	-	-
Flotation	✓	-	-	-	-	-	-	-
Fixed Film: Rotating Biological Contactors (RBC)	-	-	-	✓	-	-	-	-
Fixed Film: Trickling Filter	-	✓	-	-	-	-	-	-
Hypochlorination	-	-	✓	-	-	-	-	-
Ion Exchange	-	-	-	✓	-	-	✓	✓
Land Treatment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lime Coagulation Sedimentation	-	-	-	-	✓	-	-	-
Ozonation	-	-	✓	-	-	-	-	-
Physical-Chemical	-	✓	-	-	-	-	-	-
Reverse Osmosis	-	-	-	-	-	-	-	✓
Sand Filtration	-	✓	-	-	-	-	-	-
Sedimentation	✓	-	-	-	-	-	-	-
Suspended-growth Nitrification and Denitrification	-	-	-	✓	-	-	-	-
Ozonation	-	-	-	-	-	✓	-	-

คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ต้องการจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าควรเลือกขั้นตอนและชนิดของการบำบัดด้วยวิธีใด (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเสียที่บำบัดแล้ว (น้ำทิ้ง) ที่กระทรวงอุตสาหกรรมอนุญาตให้ปล่อยสู่ธรรมชาติ ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพียงกระบวนการเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ โดยคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์หลัก สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Asano, 1998)

พารามิเตอร์	ความสำคัญของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ค่าประมาณในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	คุณภาพที่ต้องการ
ตัวชี้วัดด้านปริมาณสารอินทรีย์			
BOD	จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์	10-30 mg/l	<1-10 mg/l
TOC	การตรวจวัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในสารอินทรีย์	1-20 mg/l	<1-10 mg/l
การวัดอนุภาคของสาร			
TSS	ของแข็งแขวนลอยจะมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และความขุ่นซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค	<1-30 mg/l	<1-10 NTU
ความขุ่น	การตรวจอนุภาคในน้ำเสียจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ TSS	1-30 NTU	0.1-10 NTU
สารอาหาร			
ไนโตรเจน	เป็นแหล่งสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	13-30 mg/l	<1-30 mg/l
ฟอสฟอรัส	เป็นแหล่งสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	0.1-30 mg/l	<1-20 mg/l
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค			
โคลิฟอร์ม	การตรวจวัดจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์	<1-104/100ml	1-2,000/ml

2.2 การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการบำบัดทางชีวภาพและกระบวนการบำบัดทางเคมีไม่สามารถบำบัดมลพิษออกได้หมด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้เพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 9.3 โดยกระบวนการทำน้ำให้สะอาดหรือการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ และหลายประเทศเริ่มให้ความสนใจในการที่จะหาวิธีและกระบวนการต่าง ๆ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้น้ำที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม

การแยกเป็นกระบวนการหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ในการนำน้ำกลับมาใช้ เพื่อแยกองค์ ประกอบหรือสารแขวนลอยให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม (Fractionation) และการทำให้บริสุทธิ์ (Purification) โดยมีหลายกระบวนการ เช่น การระเหย (Evaporation) การตกตะกอน (Sedimentation) การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) การกรองแบบดั้งเดิม (Conventional Filtration) และกระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) เป็นต้น การเลือกใช้กรรมวิธีการแยกวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณสมบัติของวัตถุดิบ ความเป็นไปได้ ทางเทคนิค ชนิดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สุดท้าย และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543) วิธีการทั่วไปในการเอาน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ การกรองด้วยสารกรองหลายชั้นในข้างต้น

ตารางที่ 2.3 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ ประโยชน์ใหม่ (Asano, 1998)

ประเภท	กระบวนการบำบัด	คุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัด	ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้
ชุมชนเมือง			
แหล่งน้ำที่ไม่ถูกควบคุม (Unrestricted)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	<ul style="list-style-type: none"> - BOD₅: ≤10 mg/l - Turbidity: ≤2 NTU - Fecal coliform: No detect/100 ml - Cl₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เพื่อการชลประทาน เช่น สวนสาธารณะ - การใช้ ในอาคาร เช่น น้ำชักโครก - น้ำเพื่อป้องกันอัคคีภัย
แหล่งน้ำที่ถูกควบคุม (Restricted Access Irrigation)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	<ul style="list-style-type: none"> - BOD₅: ≤30 mg/l - TSS: ≤30 mg/l - Fecal coliform: ≤ 200/100 ml - Cl₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เพื่อการชลประทาน - สนามกอล์ฟ - ที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 2.3 คุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ ประโยชน์ใหม่ (Asano, 1998) (ต่อ)

การชลประทานเพื่อเกษตรกรรม			
พืชอาหาร กระบวนการบำบัด	ขั้นที่สอง การกรองและการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤10 mg/l - Turbidity: ≤2 NTU - Fecal coliform: No - Cl ₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9	- ใช้เพื่อรดน้ำพืชผลทางการเกษตร
พืชที่ไม่ใช่เป็นอาหารและพืชอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤30 mg/l - TSS: ≤30 mg/l - Fecal coliform: ≤200/100 ml - Cl ₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9	- ใช้เพื่อรดน้ำพืชผลทางการเกษตร เช่น พืชที่เป็นอาหารสัตว์ หญ้า - การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ			
แหล่งน้ำที่ไม่ถูกควบคุม (Unrestricted)	การบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤10 mg/l - Turbidity: ≤2 NTU - Fecal coliform: No - Cl ₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9	- การใช้เพื่อสันทนาการ เช่น สระว่ายน้ำ และน้ำในทะเลสาบ
แหล่งน้ำที่ถูกควบคุม (Restricted Access Irrigation)	การบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤30 mg/l - TSS: ≤30 mg/l - Fecal coliform: ≤200/100 ml - Cl ₂ residual: 1 mg/l - pH 6 - 9	- น้ำจากแหล่งน้ำที่ใช้ ตกปลา พายเรือ และอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กิจกรรมสันทนาการ
เพื่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม			
การส่งเสริมสิ่งแวดล้อม (Environmental Enhancement)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤10 mg/l - Turbidity: ≤2 NTU - Fecal coliform: No - Cl ₂ residual: 1 mg/l - pH 6 to 9	- การใช้ ประโยชน์จากน้ำเสียเพื่อสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม - เพิ่มพื้นที่ธรรมชาติและรักษาทิศทางการไหลของน้ำ
การเติมน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge)	-	Site-specific	- การเติมน้ำส่งสู่ใต้ดิน - การควบคุมระดับน้ำเค็มในน้ำ
การใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial Reuse)	กระบวนการบำบัดขั้นที่สองและการฆ่าเชื้อโรค	- BOD ₅ : ≤30 mg/l - TSS: ≤30 mg/L - Fecal coliform: 200/100 ml	- ใช้ในระบบหล่อเย็น - กระบวนการหมักต้มไอน้ำ หรือใช้เป็นน้ำล้างทำความสะอาด
สำหรับนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม (Potable Reuse)	-	ต้องการความปลอดภัยสำหรับน้ำดื่ม	- นำมาใช้ ในการผลิตน้ำประปา

2.3 การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane Filtration)

2.3.1 ชนิดของเยื่อกรอง (Type of Membrane Filtration)

การกรองผ่านเยื่อกรอง (Membrane Filtration) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองเพื่อแยกสารทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น กระบวนการนี้ถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปี และได้พัฒนาขึ้นตามลำดับ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันยังมีการประยุกต์ใช้กระบวนการเยื่อกรองไม่มากนัก ส่วนมากเป็นกระบวนการออสโมซิสผกกลับ (Reverse Osmosis) ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำบาดาลเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น สำหรับหม้อไอน้ำ และในกระบวนการผลิตบางอย่างที่ต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง และเริ่มมีการใช้งานสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งตลอดจนมีการใช้กระบวนการบำบัดควบคู่กับเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) และเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane) (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) ในอนาคตกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง จะมีบทบาทที่สำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เพราะนอกจากจะสามารถใช้บำบัดน้ำเสีย เพื่อลดมลพิษแล้ว ยังมีศักยภาพสำหรับการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

สำหรับกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองเพื่อแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น หลักการของกระบวนการนี้จะต้องมีแรงดันที่ทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเยื่อกรอง (Pressure Fluid) โดยเยื่อกรองจะมีคุณสมบัติในการเลือกผ่านของสารหนึ่งมากกว่าอีกสารหนึ่ง (Semi-permeable/Perm Selective) เยื่อกรองมีทั้งที่ผลิตจากสารอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่เป็นโพลีเมอร์และสารอนินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซรามิก

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน (Ehara, 1998; Korbutowicz, 2008)

กระบวนการ	ขนาดรูพรุน(nm)	ขนาดน้ำหนักโมเลกุล(Da)	แรงดัน (Unit x 100kPa)	ความสามารถในการจำกัด
ไมโครฟิลเตรชัน	50-5,000	>300,000	Suction Pressure > 0.6 Press Pressure < 2	แบคทีเรีย , คอลลอยด์ , โปรโตซัว
อัลตราฟิลเตรชัน	5-100	1,000-300,000	Suction Pressure > 0.6 Press Pressure < 3	แบคทีเรีย, ไวรัส, สารที่ละลายน้ำขนาด 10-500 kDa
นาโนฟิลเตรชัน	~ 1	100-1,000	Press Pressure 2-15	สารที่มีขนาด 200-300 Da , เกลือประจุบวกสอง
ออสโมซิสผกกลับ	< 1	10-100	Press Pressure >15	ไอออนละลายน้ำ

1) ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration: MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองที่มีแผ่นรูพรุนค่อนข้างใหญ่ขนาด 50-1000 nm สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น สารแขวนลอย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว แรงขับเคลื่อนที่ใช้อยู่ระหว่าง 100-500 kPa หรือ 1-5 atm ใช้สำหรับการกำจัดสารแขวนลอยที่

เป็นสาเหตุความขุ่นของน้ำ แคมป์ที่เรียกว่าไป ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไปเช่น Cellulose acetate Polysulfone และ Polystyrene เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง อุตสาหกรรม เครื่องดื่ม และเทคโนโลยีชีวภาพอาจรวมกับการระบวนการหมักเพื่อแยกเซลล์จากผลิตภัณฑ์อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุนขนาดเล็ก (Micro Porous) มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm (20-200 Å) แรงขับเคลื่อนที่ใช้อยู่ระหว่าง 100-800 kPa หรือ 1-8 atm ใช้สำหรับแยกอนุภาคคอลลอยด์ แคมป์ที่เรีย ไวรัส ออกจากน้ำและสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น Cellulose acetate Polyacrylonitrile และ Polyester เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับการแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นโปรตีน การกำจัดคอลลอยด์ การบำบัดน้ำทิ้ง ทำน้ำให้บริสุทธิ์ การทำน้ำผลไม้ให้ใส เป็นต้น

2) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration: NF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุน 2-5 nm ซึ่งใกล้เคียงกับออสโมซิสผันกลับมาก คือมีผลต่างของความดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยกตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1,000 ดาร์ตัน ออกจากสารละลายตัวอย่าง เช่น น้ำตาลสารอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลาย อยู่ระหว่าง 1-2 MPa หรือ 10-20 atm มีความสามารถในการแยกไอออนบางชนิด และสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น Polymer Organic Compounds Aromatic Polyimide และ Polyvinyl Alcohol เป็นต้น เยื่อกรองนาโนฟิลเตรชันส่วนมากเป็นเยื่อกรองเชิงประกอบ ซึ่งประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นอยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่าความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดียว (เช่น NaCl) ต่ำกว่าเยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับ คืออยู่ระหว่าง 40-80%

3) ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) กระบวนการนี้เรียกว่า Hyper Filtration เป็นการแยกสารละลายโดยผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อน เยื่อกรองออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล (น้ำหนักโมเลกุล < 500 ดาร์ตัน หรือมีขนาดประมาณ 0.1-1 nm) แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ และเป็นเยื่อแผ่นที่มีโครงสร้างแน่นหรือไม่มีรูพรุน การผ่านเยื่อแผ่นของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (Solution-diffusion) ในเยื่อแผ่น ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายอยู่ระหว่าง 1-10 MPa หรือ 10-100 atm การใช้งานที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ การแยกเกลือจากน้ำกร่อย น้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำจืด การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปน เช่น อุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ

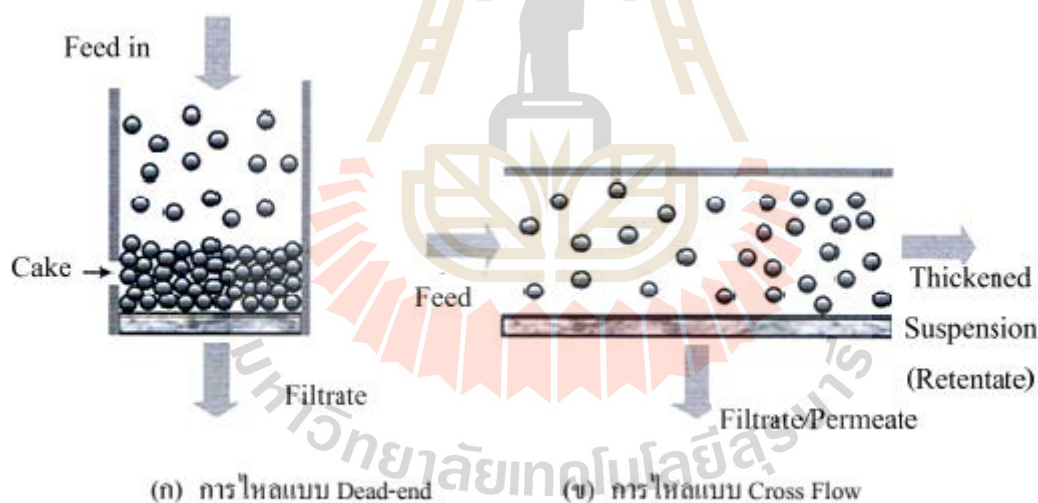
4) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุนขนาดเล็ก (Micro Porous) มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm (20-200 Å) แรงขับเคลื่อนที่ใช้อยู่ระหว่าง 100-800 kPa หรือ 1-8 atm ใช้สำหรับแยกอนุภาคคอลลอยด์ แคมป์ที่เรีย ไวรัส ออกจากน้ำ และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น Cellulose acetate Polyacrylonitrile และ Polyester เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับการแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นโปรตีน การกำจัดคอลลอยด์ การบำบัดน้ำทิ้ง ทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

คุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละประเภทเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบ เนื่องจากต้องเลือกเยื่อกรองเมมเบรนให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน การเลือกเยื่อกรองเมมเบรนให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของน้ำและสภาวะในการเดินระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งขนาดของรูพรุนและความสามารถในการกักกันเป็นคุณสมบัติของเยื่อกรองเมม

เบรอน อย่างแรกที่ต้องทราบ คุณสมบัติอื่น ๆ ของเมมเบรอนที่มีความสำคัญต่อการเลือกและการใช้งาน โดยทั่วไปขนาดของรูพรุนใช้บอกคุณลักษณะของเมมเบรอนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) บอกขนาดรูพรุนในรูปของค่า Molecular Weight Cut Off (MWCO) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถ ในการกักกันสารตามมวลโมเลกุลของสารขนาดรูพรุน และ MWCO ของเยื่อกรองเมมเบรอนที่มีช่วงกว้าง

2.3.2 ระบบการกรองของเยื่อกรองเมมเบรอน

ระบบการกรองของเยื่อกรองเมมเบรอนเป็นการกรองแบบปิดตาย (Dead-end Filtration) เป็นการป้อนสารเข้าในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผ่นกรองหรือเมมเบรอน ตัวถูกละลายที่ไม่ผ่านเมมเบรอนจะถูกสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรอนทั้งหมดมีเพียงส่วนของเพอมีเอท (Permeate) เท่านั้นที่ไหลออกจากระบบ การสะสมของตัวถูกละลาย ซึ่งจะเกิดเป็นชั้นเจลหรือชั้นเค้กที่หนาทำให้ความต้านทานการไหลของเพอมีเอทเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของเพอมีเอทลดลงอย่างรวดเร็วและอาจทำให้ความสามารถในการ เก็บกัก สารเปลี่ยนแปลงการกรองแบบนี้มักใช้ในระดัการทดลอง สำหรับการกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow Filtration) การกรองแบบนี้สารป้อนจะไหลในทิศทางขนานกับแผ่นกรอง สารป้อนจะถูกแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่ (1) เฟสที่ผ่านเมมเบรอน คือ เพอมีเอท(Permeate) และ (2) เฟสที่ไม่ผ่านเมมเบรอน คือ รีเทนเทท (Retentate) การกรองแบบไหลขวางจะสามารถลดการอุดตัน เนื่องจากอัตราการไหลเป็นแบบไหลเฉือนผิวหน้าเยื่อกรองและทำให้อนุภาคที่เกาะอยู่บางส่วนสามารถหลุดออกไปได้ (Smith et al., 2006)



รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลของสารป้อนเข้า

2.3.3 ประเภทของฟาวลิง

การอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรอนมักเกิดกับเยื่อกรองเมมเบรอนที่มีรูพรุนแบบอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ป้อนเข้า (Schafer, 2001) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1) Organic Fouling ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารอินทรีย์ จากงานวิจัยของ DiGiano et al. (1994) พบว่าโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่า 30 กิโลดาร์ตัน จะทำให้เกิดการอุดตันของนาโนฟิลเตรชัน

สำหรับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 กิโลดาร์ตัน จะทำให้เกิดการอุดตันของไมโครฟิลเตรชันส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง สารอินทรีย์ธรรมชาติยังเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันที่เกิดจากการสะสมที่ผิวหน้า และช่องว่างของเยื่อกรอง (Amy and Cho, 1999) โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการอุดตันนั้นเกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วย Proteins Amino Sugars Polysaccharides และ Polyhydroxyaromatics (Wiesner et al., 1992)

2) Inorganic Fouling การอุดตันที่เกิดจากสารอนินทรีย์เกิดจากการสะสมของสารอนินทรีย์ที่ผิวเยื่อกรองเมมเบรน เช่น สารประกอบโลหะและทำให้ ผิวหน้าของเมมเบรนหนาขึ้นหรือช่องว่างภายในรูพรุนลดลง ตะกอนถูกรวมตัวกันเมื่อสารเคมีมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัวสำหรับการอุดตันเป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิลเตรชัน ซึ่งประเภทของสารอนินทรีย์เหล่านั้นจะสร้างชั้นที่มีความเข้มข้นบนผิวเยื่อกรองที่เรียกว่าการสะสมของชั้นเค้ก สำหรับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันการอุดตันขึ้นอยู่กับ การสะสมของชั้นเค้กแต่สามารถคงอยู่ได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอ็อกซิเดชันและการอุดตันอื่น ๆ ของวัสดุ (เช่น โพลีเมอร์อินทรีย์) โดยพันธะทางเคมี กระบวนการบำบัดขั้นต้นสำหรับการกรองผ่านเยื่อกรอง ได้แก่ โคแอกกูเลชัน และออกซิเดชัน อาจเพิ่มสารประกอบออกไซด์ของโลหะบนผิวหน้าของเยื่อกรองหรือรูพรุนภายในการอุดตันเป็นปัญหาสำคัญซึ่งสามารถทำให้ สะอาดได้ด้วยสารเคมี สารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดการอุดตัน ได้แก่ แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) คาร์บอนเนต (Carbonate) ซัลเฟต (Sulfate) และเหล็ก (Iron) เป็นต้น

3) Colloid/Particle Fouling ในที่นี้หมายถึงอนุภาคที่มีขนาด 1 nm ถึง 1 (Potts et al., 1981) โดยอนุภาคดังกล่าวอาจประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์ คอลลอยด์ อนินทรีย์ก็ได้ สำหรับสาหร่าย แบคทีเรีย และสารอินทรีย์ ธรรมชาติถูกจัดอยู่ในกลุ่มของคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างจากอนุภาคที่มีความเฉื่อย เช่น โคลนและดินเหนียว เพื่อเป็นการแยกข้อแตกต่างของการอุดตันระหว่างอนุภาคและคอลลอยด์ สามารถอ้างอิงถึงลักษณะทางชีวภาพของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ในหลายกรณีอนุภาคและคอลลอยด์ไม่ได้เกิดการอุดตันอย่างแท้จริงเนื่องจากการลดลงของอัตราการไหลซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมบนผิวหน้าของเยื่อกรอง โดยส่วนมากสามารถล้างย้อนได้ด้วยการล้างย้อนและขัดถูด้วยอากาศน้อยมากที่เกิดกรณีการไม่คืนสภาพเดิมด้วยอนุภาค และคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างของเยื่อกรอง ดังนั้นอนุภาคและคอลลอยด์สามารถเข้าและติดอยู่ในเยื่อกรองและไม่ง่ายที่จะทำความสะอาดได้ด้วยพลังน้ำ

4) Microbial Fouling การอุดตันจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กการอุดตันของจุลินทรีย์เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ บนผิวหน้าของเยื่อกรอง เมื่อแบคทีเรียสัมผัสกับเยื่อกรองงานขึ้นจะก่อให้เกิด EPS หรือ Extracellular Polymeric Substance ซึ่งมีลักษณะชั้นเป็นโคลนเหมือนเจล ลักษณะของ EPS ประกอบด้วยกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและความหนาแน่นของประจุ ซึ่งลักษณะของเจลจะช่วยป้องกันเซลล์ของแบคทีเรียจากแรงเฉือนของน้ำและสารเคมี เช่น คลอรีน เป็นต้น

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน

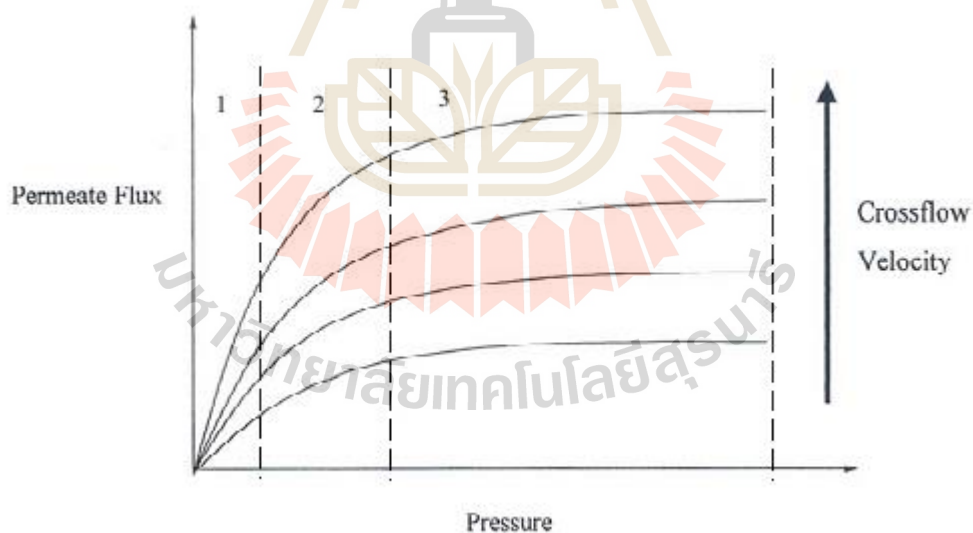
การเกิด Concentration Polarization (CP) เกิดจากการสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ เป็นปรากฏการณ์ที่พบอยู่ทั่วไปในกระบวนการกรองโดยใช้เยื่อกรอง ตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองจะสะสมอยู่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูง

กว่าในสารละลาย ทำให้ตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ การเกิด CP ซึ่งจะนำไปสู่การอุดตันของเยื่อกรองทำให้สมรรถภาพของเยื่อแผ่นลดลง

การเกิด Fouling เป็นการสะสม/อุดตัน ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อแผ่นและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ฟลักซ์ลดลง และการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนไปสิ่งสะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำต้องทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม การเกิดการอุดตันมีผลกระทบต่อกระบวนการกรอง

การเกิดฟลักซ์ (Flux) เป็นค่าที่แสดงถึงสมรรถนะของกระบวนการซึ่งจะอยู่ในรูปของแรงขับเคลื่อนและความต้านทานต่อการไหล จะมีผลต่อการบัดบังของรูพรุนและทำให้เกิดการเสียดทานภายในรูพรุนของเยื่อกรอง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

Transmembrane Pressure สำหรับการเดินระบบด้วยการไหลแบบ Cross Flow พบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความดันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อกรอง จากรูปที่ 2.2 เมื่อทำการเดินระบบในช่วงที่หนึ่ง (เริ่มต้น) อัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กราฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงที่สองอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเป็นแบบเอกโพเนนเชียลและในช่วงที่สามพบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเริ่มคงที่ค่าความดันสูง ๆ สำหรับความเข้มข้นต่ำและค่าความดันการเดินระบบที่พอดี อัตราการไหลผ่านเยื่อกรองและความดันจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตรง ที่ความดันในการเดินระบบที่สูง ๆ การลดลงของอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเริ่มต้นจะคงที่และในที่สุดก็สม่ำเสมอ (Metcalf and Eddy, 1991)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่อเพอเมตฟลักซ์ (Herath, 1984)

2.3.5 การทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

เมื่อทำการเดินระบบเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดค่าฟลักซ์ที่ลดลงซึ่งแสดงให้เห็นถึงการที่เยื่อกรองเมมเบรนเกิดการอุดตัน (Fouling) ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อกรองและภายในรูพรุนเยื่อกรอง จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเพื่อให้เยื่อกรองมีสภาพที่ใกล้เคียงกับเยื่อกรองใหม่มากที่สุด และเพื่อยืดอายุการใช้งานด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนนั้น แบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก คือ (1) วิธีทางกายภาพ (Physical Method) เป็นการทำความสะอาดที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน เช่น การเพิ่มอัตราการไหล การดูดซับสะสมออกจากหน้าผิวด้วยฟองน้ำ การล้างกลับ (Back Washing) เป็นต้น (2) วิธีทางเคมี (Chemical Method) เป็นการใช้สารเคมีทำความสะอาดเยื่อกรอง เช่น กรด ต่าง เอมไซม์ เป็นต้น (รัตนา จิระรัตนานนท์ , 2543)

1) วิธีทางกายภาพ ใช้หลักการในการล้างกลับทางหรือล้างย้อน (Backwash) เพื่อให้สารที่อยู่บนผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนหลุดออกไป เช่น การเพิ่มอัตราการไหลซึ่งจะเพิ่มแรงเฉือนที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น แต่จะลดการสะสมและการอุดตันได้ระดับหนึ่งเท่านั้น การล้างย้อนอาจทำระหว่างการกรองหรืออาจทำเมื่อเสร็จสิ้นการกรองได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสารที่สะสมอยู่ในเยื่อกรองเมมเบรนได้หมด จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดด้วยวิธีทางเคมีต่อไป

2) วิธีทางเคมี สารเคมีอาจช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยอาจทำให้สารอุดตันพองตัว หดตัว ละลาย เกิดการหลุดออก (Desorption) หรือสารเคมีที่ใช้อาจทำปฏิกิริยากับสารอุดตัน เช่น การเกิดไฮโดรไลซิส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ กรด ต่าง เอมไซม์ สารลดแรงตึงผิว สารฆ่าเชื้อ เป็นต้น การจะเลือกสารเคมีใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อกรองเมมเบรนว่ามีความสามารถในการคงทนต่อสารเคมีนั้นได้มากน้อยเพียงใด

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้ในการกำจัดสารที่อุดตัน (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

สารทำความสะอาด	สารอุดตัน		
	ตะกรันเกลือออกไซด์ของโลหะ	คอลลอยด์/อนุภาค	จุลินทรีย์
กรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักผสมกับแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (พีเอช 4)	✓	-	-
กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11-12	-	✓	✓
ไตรโซเดียมฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักผสมกับเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ของอีดีทีเอเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11-12	-	✓	✓
โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	✓	-	-
กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักผสมแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	✓	✓	-

2.4 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM)

ปัญหาใหญ่ของน้ำเสียมักเกิดจากสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำทำให้ต้องมีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพเกิดขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์มักย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีความต้องการออกซิเจนเพื่อให้ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนในการหายใจได้ ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปทำให้ออกซิเจนละลายน้ำในธรรมชาติมีไม่พอเพียง เกิดสภาวะขาดอากาศซึ่งมีผลทำให้เกิดการเน่าเหม็นของแหล่งน้ำ และการเสียชีวิตของสัตว์น้ำต่าง ๆ ที่ขาดออกซิเจน โดยพบว่าสิ่งปนเปื้อนในน้ำยังเกิดจากสิ่งสกปรกที่แขวนลอยในน้ำ (Suspended Impurities) ได้แก่ อนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ แร่ธาตุ (Mineral Matter) สารอินทรีย์ (Organic Matter) สาหร่าย (Algae) โปรโตซัว (Protozoa) และแบคทีเรีย (Bacteria) สารเหล่านี้จะให้น้ำมีสี กลิ่น และความขุ่น

2.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่ผ่านการบำบัด

การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดผลพลอยได้ที่เกิดจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Disinfection by Product) และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอนและการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้นไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำได้อย่างเพียงพอ ในทางกลับกันอาจยังเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ยกตัวอย่างเช่น ในกระบวนการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ธรรมชาติจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติหลงเหลืออยู่ในน้ำมาก อีกทั้งยังเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ เกิดสีและกลิ่น (Uyak et al., 2008) หากเติมคลอรีนโดยคำนึงถึงแต่ปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) อาจทำให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes: THMs) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งในน้ำดื่ม (Jimiez et al., 1993) สารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักเรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยสารตั้งต้น (Disinfection by products: DBPs) ประกอบด้วยไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) และสารประกอบคลอรีนอื่น ๆ (Tan and Amy, 1991) สารที่ใช้ฆ่าเชื้อในการผลิตน้ำดื่มนั้นเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มาจากสารประกอบฮาโลเจนที่เกิดเป็น Disinfection by Products (DBPs) โดยสารสองตัวหลัก ได้แก่ Trihalomethanes (THMs) และ Haloacetic Acids (HAAs) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งในการกำหนดค่ามาตรฐานของน้ำประปา หรือที่เรียกว่าค่าระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminate Levels: MCLs) ของสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำประปา ถูกกำหนดโดยมาตรฐานของ U.S. EPA ในน้ำดื่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.6

2.4.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำทั่วไปจะประกอบไปด้วยไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกขึ้นอยู่กับขนาดและคุณลักษณะของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ (Marthaba et al., 2003) โดยกลุ่มไฮโดรโฟบิกซึ่งเป็นสารประกอบฮิวมิก ได้แก่ กรดฮิวมิกและกรดฟูลวิก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมามีพบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติสารกลุ่มไฮโดรโฟบิกมากกว่าร้อยละ 50 เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolve Organic Carbon: DOC) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของซากพืชหรือสัตว์ ถ้าในน้ำมีปริมาณความเข้มข้นของ DOC สูง

กว่า 5 mg/L จากการศึกษาพบว่าในแหล่งน้ำดิบทั่วไปในแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำที่นำมาศึกษา แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม (Walsh, 2008)

Country	Method	Concentration	
		µg/l of TTHMs	µg/l of HAAs
USA	Established maximum Contaminant level (MCLs)	80	60
Canada	The Federal-provincial-Territorial Committee on Drinking Water Quality Has an Established Maximum Acceptable Concentration (MAC)	100	-
European Union	-	100	-

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แหล่งน้ำดิบ	พารามิเตอร์		อ้างอิง
	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mg/l)	
Aung-Keaw Reservoir, Thailand	0.110-0.274	0.36-1.67	Wattabachai, S. et al. (2004)
Mae-Hia Reservoir, Thailand	0.110-0.206	0.18-0.65	
Hoedong Reservoir, Korea	0.049	1.93	Jung, C.W., et al. (2008)
Nakdong River, Korea	0.028	1.79	
Bangkhen WTP, Thailand	0.131	-	วรพจน์ กนกกันตพงษ์ บุญยฤทธิ์ ปีญาภิญญาผล และสุรพงษ์ วัฒนะจีระ (2550)
Samsen Canal, Thailand	0.3-0.6	-	ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และชวลิต รัตนธรรมสกุล (2552)

2.4.3 กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสี กลิ่น และสารอินทรีย์ที่ออกจากน้ำโดยกระบวนการทั่ว ๆ ไป ที่นิยมใช้การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) และการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ซึ่งในปัจจุบันยังได้นำวิธีการการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) มาเป็นวิธีการลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติลงก่อนที่จะผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Morran et al., 1996) หรือใช้กระบวนการกำจัดด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) หรืออัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) แทนการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี

1) กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนนั้นถือเป็นการกรองโดยใช้เทคโนโลยีเมมเบรน ที่ต้องอาศัยแรงดันเพื่อจะให้น้ำดิบไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยกระหว่างน้ำกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ระบบ

เมมเบรนที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration ; MF) ระบบอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration ; UF) ระบบนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration ; NF) และระบบออสโมซิสผันกลับหรืออาร์โอ (Reverse Osmosis ; RO) ซึ่ง ความแตกต่างของกระบวนการเหล่านี้จะอยู่ที่ความสามารถในการแยกสารแขวนลอยที่มีขนาดต่างๆ และ แรงดันที่ทำให้เกิดการแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติและน้ำออกจากกัน กระบวนการเมมเบรนเป็นระบบที่ใช้มากในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่ละลายน้ำ (พบว่าสามารถบำบัดได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์) และยังเหมาะสมสำหรับแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติในปริมาณสูงอีกด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการนี้ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ขนาดและลักษณะสมบัติของเมมเบรน, ความดันที่ใช้ อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง(pH) และสารแขวนลอยอื่นๆในน้ำ อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำในขั้นต้น (Pretreatment) เพื่อลดการอุดตันบนผิวของเมมเบรนและเพื่อยืดอายุการใช้งาน รวมทั้งช่วยลดต้นทุนของการเปลี่ยนแผ่นเมมเบรนเนื่องจากผลของการอุดตันบนแผ่นเมมเบรน

2) กระบวนการโฟโตคะตะไลติก

กระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic Process) ถือเป็นกระบวนการการออกซิเดชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแสง (Photocatalyst) ประกอบด้วยกันสองขั้นตอน คือการดูดติด (Adsorption) และการฉายแสง (Irradiation) ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญอยู่สองอย่าง ได้แก่ พลังงานแสงและตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแสงเพื่อเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาเช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ซัลไฟด์แคดเมียมออกไซด์ และแคดเมียมซัลไฟด์ เป็นต้น สามารถบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากโดยการดูดติดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแสง และเกิดการออกซิเดชันจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแสง อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลาย และความเข้มของแสง

3) กระบวนการดูดติดผิว

กระบวนการดูดติดผิวก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดกลิ่นและสีอันเกิดมาจากสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ มักจะใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากรวมถึงมีราคาถูก วัสดุคิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ก็ทำได้ง่ายโดยอาจจะใช้อินทรีย์วัตถุ (เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ขี้เลื่อย) หรือถ่าน (เช่น ถ่านธรรมชาติ) ก็ได้ ในการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์นั้นโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติจะถูกกำจัดออกจากน้ำโดยไปเกาะติดอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ดังนั้นประสิทธิภาพของกระบวนการนี้จึงขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการบำบัด ทั้งนี้เมื่อถ่านกัมมันต์ถูกใช้งานเป็นเวลานานรูพรุนของถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ทำให้หมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิวดังนั้นจึงต้องทำการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ซึ่งวิธีที่นิยมที่สุดคือการใช้ความร้อนในการฟื้นฟูสภาพ

4) กระบวนการการออกซิเดชัน

กระบวนการการออกซิเดชัน เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ ที่พบทั่วไปจะเป็นกระบวนการเติมโอโซนซึ่งถือเป็นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advance Oxidation Process) เพราะสามารถบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มากกว่าประมาณ 60

เปอร์เซนต์(Siddiqui et al.,1997) โอโซนที่ใช้บำบัดนั้นได้มาจากการใช้สนามไฟฟ้าไฟฟ้าแรงสูงหรือจากรังสีอัลตราไวโอเลตผ่านไปยังออกซิเจนโมเลกุล (O_2) จนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) จากนั้นออกซิเจนอะตอมที่ได้ก็จะไปรวมตัวกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่นในบริเวณใกล้เคียงเกิดเป็นโอโซน (O_3) ออกซิไดส์โมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยกระบวนการนี้มักจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลากหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นและคุณสมบัติจำเพาะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ คุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำ เช่น สารโบรมีนและประสิทธิภาพในการถ่ายโอนโอโซน อย่างไรก็ตามกระบวนการการออกซิเดชันโดยการเติมโอโซนนั้นก็สามารถทำให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้เช่นกัน

Qin et al. (2006) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติจากอ่างเก็บน้ำในประเทศสิงคโปร์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเลือกใช้สารส้ม (Alum) ในการสร้างตะกอน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 5 mg/l ที่ pH เท่ากับ 5.2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ DOC ได้ 45% และกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 97 ในขณะที่ pH เท่ากับ 7.2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ DOC ได้ร้อยละ 35

สำหรับ Leiknes et al. (2004) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันในการผลิตน้ำดื่มเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ พบว่าสามารถลดความขุ่นให้เหลือน้อยกว่า 0.2 NTU กำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 95 กำจัด UV_{254} ได้ร้อยละ 85 และกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของ TOC ได้ประมาณร้อยละ 65-75 เมื่อใช้โพลีลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 mg/L เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ที่อัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเมมเบรนเท่ากับ 180 ลิตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ Siddiqui et al. (1997) ได้ทำการศึกษากำจัดสารอินทรีย์ ธรรมชาติด้วยโอโซนในน้ำดิบจาก 4 แหล่ง คือ (1) Silver Lake (SLW) (2) Barker Lake (BLW) (3) Boulder Reservoir (BRW) และ (4) Colorado River (CRW) ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มี DOC อยู่ ในช่วง 2.8-7.0 นำมากรองผ่านเยื่อกรอง 0.45 ไมครอน พบว่า DOC ลดลงร้อยละ 40-50 ในขณะที่ Aldehyde ลดลงร้อยละ 90-100 และไตรฮาโลมีเทน ลดลงร้อยละ 40-60 ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ Cyclodextrin polyurethanes เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 6-33 (Nkambule et al., 2009) และเมื่อใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับโอโซนจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 88

2.5 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่น

โอโซน (Ozone, O_3) คือรูปแบบหนึ่งของออกซิเจนที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิดทั้งในน้ำ และอากาศ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรสามารถเป็นไปเป็นออกซิเจนได้งานเมื่อโดนความร้อนทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนที่มีความหนาแน่นสูง และเก็บไว้นาน ๆ ได้ โอโซนสามารถผลิตได้โดยกระบวนการนำอากาศหรือออกซิเจนผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูง (Dielectric barrier discharge) ทำให้โมเลกุลออกซิเจนบางส่วนถูกแยกเป็นอะตอมของออกซิเจนโดยการวิ่งชนของประจุลบ จากนั้นอะตอมของออกซิเจนจะไปรวมตัวกันกับโมเลกุลออกซิเจนกลายเป็นโอโซน

เครื่องผลิตโอโซนแบ่งตามหลักการ เปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของออกซิเจน จาก 2 อะตอม ให้เป็น 3 อะตอม ใน 1 โมเลกุล สามารถแบ่งได้เป็น 2 หลักการ ดังนี้

1. เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV Ozone generator)

ใช้รังสีจากหลอดอัลตราไวโอเลตที่มี ความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร จะผลิตก๊าซโอโซนความเข้มข้นต่ำ 0.01% - 0.1% โดยน้ำหนัก (หรือ 100 ppm - 1,000 ppm) นิยมใช้กับอากาศมากกว่าใช้กับน้ำ เพราะถ้าใช้กับน้ำการละลายจะต่ำมาก โดยเราจะให้อากาศปริมาณมากผ่านหลอดแสง อัลตราไวโอเลต ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนใน อากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม (O) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่นได้เป็นก๊าซโอโซน จากนั้นก๊าซโอโซนจะถูกฉีดเข้าไปผสมกับน้ำหรือไอน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารแปลกปลอมต่าง ๆ เช่นสารประกอบอินทรีย์ อนินทรีย์ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในน้ำ โดยโอโซนจะเข้าทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ทันทีที่เป็นผลทำให้กิจกรรมของ เอนไซม์และเซลล์สูญเสียไป

2. หลักการทางพลังงานไฟฟ้าโคโรนาดีสชาร์จ (Corona discharge phenomena ; CD ozone)

เป็นการให้ก๊าซออกซิเจนแห้ง และบริสุทธิ์ผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า (Electrical field) หลายพันโวลต์ ทั้งชนิดความถี่ต่ำ (50 Hz-100 Hz) ความถี่ปานกลาง (100 Hz-1,000 Hz) และความถี่สูง (1,000 Hz ขึ้นไป) ที่บริเวณ Discharge gap ซึ่งเกิดจากการผลิต กระแสไฟฟ้าที่บริเวณ Dielectric surface ณ สนามไฟฟ้าแห่งนี้มีผลให้ก๊าซออกซิเจนใน อากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม (O) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซนออกมา ด้วยความเข้มข้นสูง ตั้งแต่ 1-10% โดยน้ำหนัก สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำได้อย่างดีขนาดเครื่องมือตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ (ระดับมิลลิกรัมถึงระดับกิโลกรัมต่อชั่วโมง)

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลประสิทธิภาพของโอโซน

1) อุณหภูมิ เมื่อเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณโอโซนลดลงเนื่องจากโอโซนจะสลายตัวได้เร็วขึ้น ความคงตัวของตัวโอโซนรวมทั้งความเข้มข้นของโอโซนขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

2) ค่าพีเอชมีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของโอโซนต่อสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในสภาวะที่พีเอชน้อยกว่า 7 โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้ช้าแต่เมื่อพีเอชมีค่ามากกว่า 8 ปฏิกิริยาจะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโอโซนสลายตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical, OH[•]) ที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง

3) คุณสมบัติของการละลาย ปริมาณสารประกอบของสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายของก๊าซโอโซน กล่าวคือถ้ามีสารประกอบและอนุภาคต่าง ๆ ในปริมาณที่มากจะส่งผลให้โอโซนละลายน้ำได้น้อยลง

4) ขนาดของฟองก๊าซโอโซน จำนวนและขนาดของหัวจ่ายที่ใช้ในการพ่นก๊าซมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซ ฟองก๊าซที่มีขนาดใหญ่จะทำให้การผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไม่สมบูรณ์ ปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำจึงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซโอโซนที่มีขนาดเล็ก และความดันอากาศในการผลิตก๊าซโอโซนมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซ เนื่องจากที่ความดันสูงจะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดใหญ่ส่งผลให้เกิดการละลายน้ำได้น้อย

5) วิธีการที่โอโซนสัมผัสกับสารละลาย การเป่าก๊าซโอโซนและน้ำพร้อม ๆ กันทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างก๊าซ และของเหลวอย่างชัดเจน ปริมาณโอโซนที่ได้จะละลายน้ำได้จึงมีค่าน้อย แต่การพ่นโอโซนที่อยู่ในคอลัมน์ทำให้โอโซนผสมกับของเหลวได้ดีกว่า ปริมาณโอโซนที่ได้จะมีค่าการละลายเพิ่มสูงขึ้น ระบบการผสมโอโซนกับน้ำมีวิธีปฏิบัติที่นิยมทำกัน 2 วิธีคือ

- ระบบกระจายฟองอากาศ (Aeration system) ใช้ป้อนลมดันก๊าซโอโซนลงสู่น้ำผ่านหัวทรายหรือหัวกระจายอากาศ ขนาดฟองโอโซนขึ้นกับชนิดและคุณภาพของหัวกระจายอากาศ เหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำที่น้ำมีเวลาพักอยู่ในถังเก็บเป็นเวลานาน

- ระบบการฉีดผ่านหัวเวนจูรี (Ventury injection system) หรือระบบดูดโอโซน หลักการคือใช้ระบบ Ventury injector เป็นตัวดูดให้โอโซนละลายในน้ำ โดยอาศัยหลักการของการสร้างความแตกต่างของแรงดันจะเกิดสุญญากาศ ทำให้สามารถดูดก๊าซโอโซนในปริมาณที่ต้องการได้ เมื่อใช้น้ำดันผ่าน Ventury injector ขนาดฟองโอโซนจะเล็กมากให้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบกระจายอากาศ เหมาะสำหรับระบบการผลิตน้ำดื่มที่ต้องการผลผลิตมากและมีความต่อเนื่อง

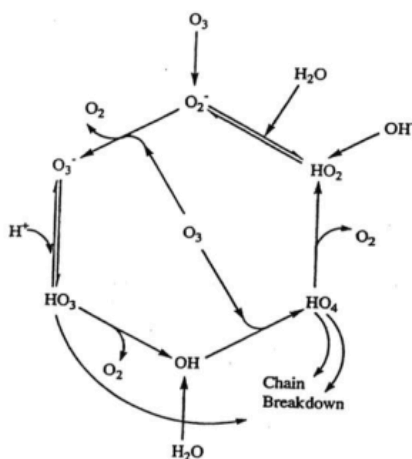
ตารางที่ 2.8 ข้อดี-เสียของระบบการผสมโอโซนกับน้ำ

ระบบการผสมโอโซนกับน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบกระจายฟองอากาศ (Aeration system)	- ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง	- ประสิทธิภาพการผสมโอโซนต่ำ - การซ่อมบำรุงขึ้นกับคุณภาพน้ำ เพราะอาจเกิดการอุดตันที่หัวกระจายฟองอากาศ - ไม่เหมาะกับระบบผลิตน้ำที่ต้องการความต่อเนื่องในการผลิต (เวลาที่น้ำพักในถังน้อย)
ระบบการฉีดผ่านหัวเวนจูรี (Ventury injection system)	- ประสิทธิภาพสูง ให้ผลลัพธ์ที่แน่นอน - ซ่อมบำรุงดูแลง่าย	- ราคาสูงกว่า ทั้งระบบที่ติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

2.5.2 ปฏิกริยาสลายตัวของโอโซนในน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย โดยแตกตัวทำให้เกิดเรดิคอลต่าง ๆ ได้แก่ OH° , HO_3 , HO_4 และ Super oxide (O_2^-) ดังรูปที่ 2.3 เรดิคอลที่เกิดขึ้นมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ

ในน้ำธรรมชาติกลไกการสลายตัวของโอโซนซับซ้อนกว่าในน้ำบริสุทธิ์ เพราะในน้ำธรรมชาติสารประกอบต่ำ ๆ ซึ่งอาจเป็นตัวก่อ (Initiator) เช่น ฟอ์เมต HO_2^- , Fe_2^+ , OH° หรือตัวกระตุ้น (Promotor) เช่น ฟอ์เมต และ Primary alcohol หรืออาจมีสารยับยั้ง (Inhibitor) เช่น คาร์บอนเนต ไบคาร์บอนเนต และ Tertiary alcohol ของการสลายตัวของโอโซนอนุมูล Hydroxide ion เป็น Promotor ของการสลายตัวโอโซน ดังนั้นครึ่งชีวิตของโอโซนจึงค่อนข้างสั้นในสภาพต่าง โดยที่ pH เท่ากับ 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์มีค่าประมาณ 30 นาที สารประกอบอินทรีย์ในธรรมชาติเป็นทั้ง Inhibitor และตัว Promotor ของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในน้ำ

2.5.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน

กระบวนการการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ กระบวนการเติมโอโซนซึ่งถือเป็นกระบวนการออกซิเดชัน ขั้นสูง (Advance Oxidation Process) เพราะสามารถบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มาก โอโซนที่ใช้บำบัดนั้นได้มาจากการใช้สนามไฟฟ้าไฟฟ้าแรงสูงหรือจากรังสีอัลตราไวโอเลทผ่านไปยังออกซิเจนโมเลกุล (O_2) จนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) จากนั้นออกซิเจนอะตอมที่ได้ก็จะไปรวมตัวกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่นในบริเวณใกล้เคียงเกิดเป็นโอโซน (O_3) ออกซิไดส์โมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังรูปที่ 1 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยกระบวนการนี้มักจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลากหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นและคุณสมบัติ จำเพาะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ คุณสมบัติทางเคมีของ สารอินทรีย์ในน้ำ เช่น สารโบรมะและประสิทธิภาพในการถ่ายโอโซน

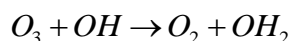
ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซนในทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 แบบคือ ปฏิกิริยาทางอ้อม (Indirect reaction) และปฏิกิริยาทางตรง (Direct reaction)

1) ปฏิกิริยาทางอ้อม

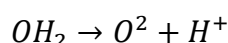
ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อมจะมีการรวมตัวกับอนุมูลหรือเรดิคัล (Radicals) การสลายตัวของโอโซนจะเกิดขึ้น 2 ขั้น คือขั้นแรก เกิดจากตัวเร่งเริ่มต้น (Initiators) เช่นไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ขั้นที่สอง เป็นการออกซิเดชันไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxylradicals ; OH^\bullet) จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ไฮดรอกซิลเรดิคัลเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารเหล่านี้กลไกการสลายตัวของโอโซนสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน

- (1) ขั้นเริ่มต้น (Initiation)
- (2) ขั้นการเกิดสายโซ่ของเรดิคัล (Radical chain)
- (3) ขั้นสุดท้าย (Termination step)

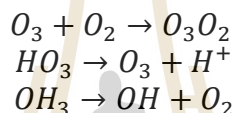
ขั้นเริ่มต้น เป็นปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลไอออน และโอโซนทำให้เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออนเรดิคัล (Superoxideanion radical ; $O_2^{\bullet-}$) และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล ; OH_2°) ดังนี้



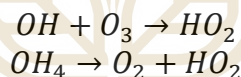
ไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัลอยู่ในสมดุล กรด-เบส (Acid - base equilibrium) สามารถเปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน เรดิคัล ดังนี้



ขั้นสายโซ่ของเรดิคัล โอโซนแอน ไอออนเรดิคัล (O_3°) เกิดจากปฏิกิริยา ระหว่างโอโซนและซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล สามารถสลายตัวเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังนี้

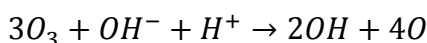


ไฮดรอกซิล เรดิคัลที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับโอโซน เกิดเป็น OH_4° และสลายตัวได้ออกซิเจน และ ไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล ซึ่งจะให้ ไฮดรอกซิลเรดิคัลด้วยตามวิธีการเกิดของปฏิกิริยา



การสลายตัวของ OH_4° ได้ออกซิเจน และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล จะเป็น ปฏิกิริยาสายโซ่ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ปฏิกิริยาที่ (1) จนถึงปฏิกิริยาที่ (4) จะเปลี่ยนไฮดรอกซิล เรดิคัลเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน เรดิคัล และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัลจะเป็น ตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เรียกว่าตัวส่งเสริม (Promoter) ส่วนการสลายตัวของโอโซนที่เป็น แบบจำลองของ Tomiyasu และคณะ (1985) จะไม่พบปฏิกิริยาลูกโซ่ แต่จะให้ผลคล้ายกัน

ขั้นสุดท้าย เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัลเกิดจากโอโซน จำนวน 3 โมเลกุลให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล 2 โมเลกุล ดังนี้



2) ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง

ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรงจะเกิดขึ้น ถ้าในน้ำไม่มี Initiate chain reaction (Initiators) หรือ Termination chain reaction เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือความเข้มข้น ของสารตัวจับที่

ช่วยให้เกิดกลไกปฏิกิริยา ออกซิเดชัน (Scavengers mechanism of oxidation) เพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรงมีความสำคัญหรือเกิดมากขึ้น

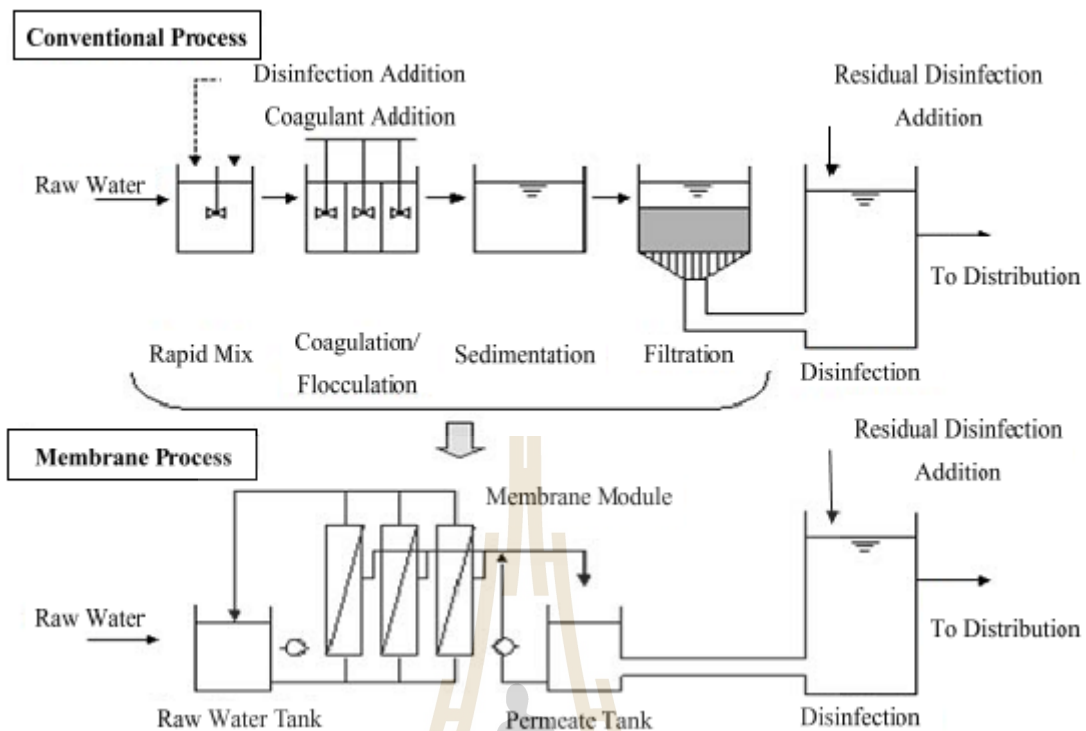
อย่างไรก็ตามกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับเทคโนโลยีไปอย่างมาก สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยวิธีต่าง ๆ มีข้อดี-เสียแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ข้อดี-เสียของการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการต่าง ๆ

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
โคแอกกูเลชัน	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นทางเลือกที่ประหยัดที่สุด - กระบวนการนี้ทำให้มีอนุภาคใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการเติมถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนถัดไป 	<ul style="list-style-type: none"> - หากน้ำมีสี และความขุ่นต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากขึ้น - มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้น้อย
การดูดซับที่ผิวด้วยถ่านกัมมันต์	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำจัดสีและความขุ่นของน้ำได้ดี - ต้องใช้ระยะเวลาสัมผัสสั้นๆ ประมาณ 10-150 นาที - สามารถกำจัดสารตัวอื่น ๆ ได้ เช่น ยาฆ่าแมลง เป็นต้น 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำจัดสารโบมีนได้ค่อนข้างน้อย - มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้น้อย
โอโซนเนชัน	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำจัดสีและความขุ่นของน้ำได้ดี - สามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้ - สามารถออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ได้ - ไม่ทำให้เกิดของแข็งละลาย และพีเอชของน้ำไม่มีผลต่อระบบ 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถทำปฏิกิริยากับ DOM เกิดสาร Ozonation by products - สามารถทำปฏิกิริยากับ DOM และโบรมีน ทำให้เกิดสาร Brominated by products

2.6 การประยุกต์ใช้เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

การใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มศักยภาพในการบำบัดหรือปรับคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอและเป็นที่ยอมรับ อีกทั้งยังช่วยให้การทำงานรวดเร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสามารถทดแทนหน่วยบำบัดได้ถึง 4 หน่วยบำบัด คือ กระบวนการกวนเร็ว (Rapid Mixing) กระบวนการสร้างตะกอน(Flocculation) กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และกระบวนการกรอง (Filtration) (Mallevalle et al., 1996)



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปกับกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง

กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองโดยทั่วไปจะใช้ลักษณะการกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow) เป็นการผ่านสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหล ทำให้สารละลายพัดพาอนุภาคจากผิวหน้าเยื่อกรองซึ่งเรียกว่าเค้ก (Cake) การสะสมของสารบนเยื่อกรองจะเกิดเพียงบาง ๆ เท่านั้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในปัจจุบันจึงเป็นแบบไหลขวางเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับการกรองแบบ Dead-end ซึ่งจะเกิดการอุดตันเยื่อกรองได้ง่ายกว่า โดย Owen et al. (1995) ได้ศึกษาระบบไมโครฟิลเตรชัน (MF) แบบ Dead-end ของสารละลายเบนโตนัทกับสารละลาย Bovine Serum Albumin (BSA) โดยใช้แผ่นโพลีคาร์บอนเนตที่มีรูพรุนแบบแคลปีลาตี พบว่ากลไกการเกิดการอุดตันเยื่อกรองมีดังนี้ (1) เกิดการอุดตันที่รูพรุนที่เล็กที่สุดก่อน (2) เกิดการสะสมภายในรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ (3) อนุภาคใหญ่เริ่มปกคลุมหรือสะสมทับอนุภาคที่สะสมหรืออุดตันอยู่ก่อน (4) เกิดชั้นเค้ก (Cake) เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามการถ่ายเทมวลในกระบวนการกรองแบบไหลขวางก็ยังมีปัญหาการอุดตันเยื่อกรองซึ่งเป็นการสะสม และ/หรืออุดตันภายในรูพรุนและเกิดเป็นชั้นเค้ก (Cake) สาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันในการกรองผ่านเยื่อกรองเกิดจากการดูดซับตัวถูกละลาย (โปรตีน ไขมัน) บนผิวหน้าเยื่อแผ่นและบนผนังรูพรุน เนื่องจากการเกิด Concentration Polarization (CP) และเกิดการอุดตัน/การบดบังรูพรุน ลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของการอุดตันเยื่อกรอง คือ การไม่สามารถใช้วิธีเปลี่ยนสถานะการทำงาน เช่น เพิ่มอัตราการไหล การปรับเปลี่ยนความดัน หรือการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ให้หมดไปจึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีเพื่อล้างทำความสะอาด (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543) พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลหรือเพิ่มความเร็วในการผ่าน

สารละลายจะช่วยลดการเกิด CP ที่เป็นสาเหตุของการอุดตันเยื่อกรองได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย

ในการนำเอาระบบกรองผ่านเยื่อกรองมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ มีผู้ทำการวิจัยมากมาย โดยมีการศึกษากระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศและระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ ในการศึกษาดังกล่าวพบว่าสามารถลดความสกปรกในรูป COD ได้สูงกว่าร้อยละ 80 (Puetpaiboon et al., 1989) ในการศึกษากระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.1 ไมครอนร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Loading) และเวลาเก็บกัก ระบบนี้สามารถลดความสกปรกในรูป COD ได้ ร้อยละ 90-95 (Yamonato et al., 1989) จากรายงานเปรียบเทียบการใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางและเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันเพื่อผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบซึ่งมีความสกปรกไม่สูงมากในระดับโรงงานต้นแบบ ขนาดกำลังการผลิต 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยโรงงานที่ใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane) มีจำนวน 14 โรงงาน และโรงงานที่ใช้เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) จำนวน 10 โรงงาน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดด้วยเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน และเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันไม่มีความแตกต่างกัน (Kumikane et al., 1995) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและลดปัญหาการอุดตันเยื่อกรองด้วยการบำบัดน้ำขั้นต้นก่อนเข้ากระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง (Drewes et al., 2003) พบว่าการกรองด้วยไมโครฟิลเตรชันสามารถลดสารอินทรีย์ทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 93 ซึ่งในกระบวนการกรองน้ำล้างจากกระบวนการชุบนิเกิลด้วยเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 13,000 50,000 และ 100,000 ดาร์ตัน ที่ผลิตจาก Polyacrylonitrile มีพื้นที่การกรอง 64 ตารางเมตร มีผลต่อสภาพการซึมผ่านของน้ำพบว่าที่ MWCO 50,000 ดาร์ตัน เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการกรองน้ำล้างรวมจากกระบวนการชุบนิเกิลมากที่สุด (Qin et al., 2003)

อย่างไรก็ตามการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในประเทศไทยยังมีการศึกษาวิจัยไม่มากนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบธรรมชาติด้วยกระบวนการปรับคุณภาพน้ำทั่วไป ดังนั้นการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง (MF/UF) สำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบในการที่จะทำให้เกิดการอุดตันเยื่อกรอง (Membrane Fouling) และการทดลองเดินระบบในระยะยาว (Long-term Experiment) เพื่อให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือและทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยเลือกเอาปัจจัยที่มีความสำคัญซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานจริงในอนาคตต่อไป โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันนิยมมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.10 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรน

อ้างอิง	การประยุกต์ ใช้
จรรยา สุขผล และสุพัฒน์พงษ์ มัตราช (2552)	กระบวนการนาโนฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดินสามารถแยกสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่มีขนาดอนุภาค 0.001-0.01 ไมครอน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างในน้ำได้ร้อยละ 80-90
ศักดิ์สิทธิ์ อิมแมน และ ขวลิท รัตนธรรมสกุล (2552)	ในการกรองด้วยเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าการแปรผันความดันจาก 110-150 kPa พบว่าความดันที่สูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดไอออน ความดันที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันในการกำจัดความขุ่นซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยได้ 99%
Puetpaiboon et al. (1988)	การใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันร่วมกับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ พบว่าสามารถลด COD ได้ มากกว่าร้อยละ 80
Glucina et al. (2000)	เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 10,000 ดาร์ตัน นำมากรองน้ำผิวดินจากแม่น้ำที่มีความขุ่นเฉลี่ย 10 NTU โดยใช้อัตราการซึมผ่านเมมเบรน 15.5 L/m ² .hr พบว่าน้ำเพอมีเอทมีความขุ่นเฉลี่ย 0.10 NTU มีการรักษาอัตราการซึมผ่านของน้ำดี ด้วยการล้างย้อนทุก ๆ 30-40 นาที
Siddiqui et al. (2000)	เปรียบเทียบการนำน้ำผิวดินมาผ่าน MF ขนาด 0.1 ไมครอน UF ขนาด MWCO 60,000 ดาร์ตัน และ NF ขนาด MWCO 500 ดาร์ตัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด NOM ของ MF น้อยกว่าร้อยละ 10 UF น้อยกว่าร้อยละ 30 และ NF มากกว่าร้อยละ 80
Alonso et al. (2001)	กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันถูกนำมาใช้ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าสามารถลดฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
Kim et al. (2002)	การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีความขุ่น 9-11 NTU พบว่าสามารถลดความขุ่นได้เหลือ 0.6-1.2 NTU โดยทำการล้างย้อนทุก ๆ 4 ชั่วโมงเป็นเวลานาน 5 นาที
Zularisam et al. (2007)	ศึกษาการนำน้ำผิวดินที่มีความเข้มข้น DOC เท่ากับ 6.8 mg/l มาผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 50,000 ดาร์ตัน สามารถกำจัด DOC ได้ ร้อยละ 25

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในชั้นที่สองจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา มาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการโอโซน สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนคือโพลีลูมินัมคลอไรด์ โดยนำมาทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม จะนำมาอ้างอิงสำหรับใช้ในการตกตะกอนสารแขวนลอยและคอลลอยด์ของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำส่วนใสจะถูกนำมาผ่านชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอนเพื่อกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและกระบวนการโอโซนเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำประปา สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ และประสิทธิภาพในการเดินระบบ โดยมีแผนผังการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1 และมีรูปแบบการเดินระบบแสดงดังรูปที่ 3.2

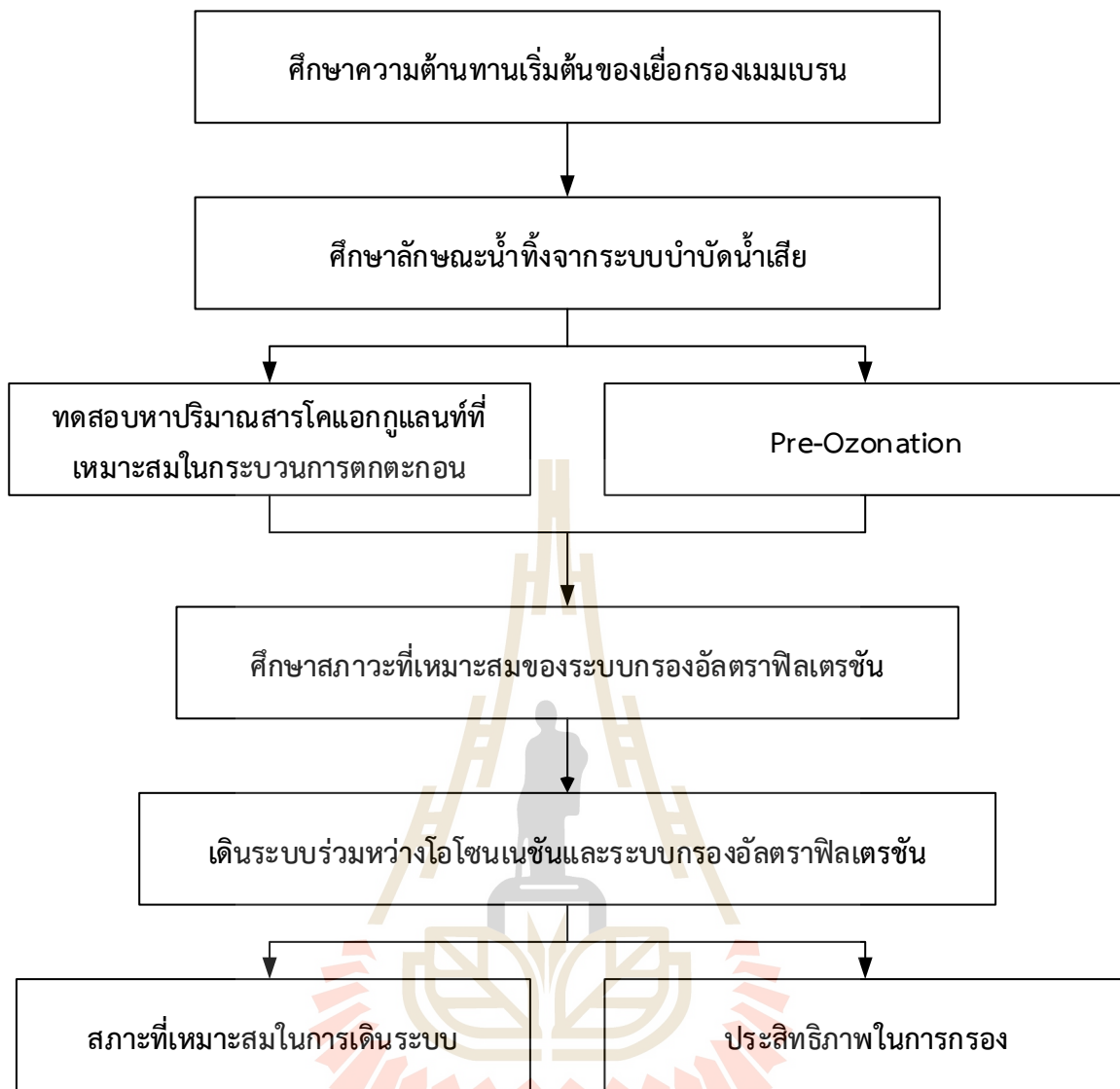
3.2 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน

การเดินระบบกรองจะทำการวัดความต้านทานเริ่มต้นเพื่อเป็นการตรวจสอบความต้านทานของระบบกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเริ่มเดินระบบ ด้วยการกรองน้ำสะอาดผ่านระบบเยื่อกรองเมมเบรน โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์และแรงขับเคลื่อนเพื่อกำหนดหาความต้านทานของเมมเบรนไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานเมมเบรนที่ผ่านการใช้งานแล้ว สามารถหาความต้านทานเริ่มต้นได้จากสมการของ Darcy

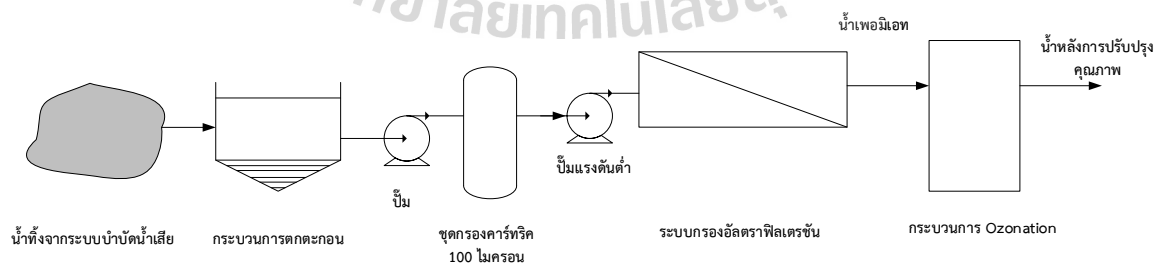
จากสมการของ Darcy

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t}$$

โดยที่	J	=	Permeate flux (L/m. ² h)
	ΔP	=	Transmembrane pressure (Pa)
	μ	=	Viscosity (N.s/m. ²)
	R_t	=	Total resistance for filtration or Hydraulic resistance of clean membrane (m ⁻¹)



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.2 กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

3.3 การสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟลอคกูเลชัน

โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี ระยะเวลาในการกวน และระยะเวลาในการตกตะกอน โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ ความขุ่น สี และ COD เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบจึงทำการทดลองรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อศึกษาสภาวะต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการ Chemical coagulation - flocculation ด้วย PAC และ Polymer

ปัจจัยที่ศึกษา	ความเข้มข้นของสาร Coagulant (mg/l)	ความเข้มข้นของสาร Flocculant (mg/L)	เวลาในการกวนเร็ว (นาที)	เวลาในการกวนช้า (นาที)	เวลาในการตกตะกอน (นาที)
1.ความเข้มข้นของ PAC (mg/l)	200-800	1,000	5	15	15
2.ความเข้มข้นของ Polymer (mg/l)	ความเข้มข้นของ PAC จากข้อ 1.	500-2,500	5	15	15

หมายเหตุ: ปัจจัยที่ควบคุมได้แก่
ความเร็วในการกวนเร็ว 200 รอบต่อนาที
ความเร็วในการกวนช้า 40 รอบต่อนาที

3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชัน

กระบวนการการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ กระบวนการเติมโอโซนซึ่งถือเป็นกระบวนการออกซิเดชัน ขั้นสูง (Advance Oxidation Process) เพราะสามารถบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มาก ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยกระบวนการนี้มักจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลากหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นและคุณสมบัติ จำเพาะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ คุณสมบัติทางเคมีของ สารอนินทรีย์ในน้ำ เช่น สารโบรมेटและประสิทธิภาพในการถ่ายโอโซน

3.4.1 เครื่องกำเนิดโอโซน

เครื่องกำเนิดโอโซนที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ในอัตรา 6 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยโอโซนที่ใช้บำบัดนั้นได้มาจากการใช้สนามไฟฟ้าไฟฟ้าแรงสูงหรือจากรังสีอัลตราไวโอเลตผ่านไปยังออกซิเจนโมเลกุล (O_2) จนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) จากนั้นออกซิเจนอะตอมที่ได้ก็จะไปรวมตัวกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่นในบริเวณใกล้เคียงเกิดเป็นโอโซน (O_3) ออกซิไดส์โมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ละลายอยู่ในน้ำ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดโอโซน

Item	Unit	Result
O_3 Output	g/hr	6
Air flow rate	m ³ /hr	155
Power	w	60
Power supply	V/ Hz	110/220V 50/60Hz



รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดโอโซน

3.4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของกระบวนการโอโซนเนชั่น

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการการเดินระบบจะทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการเติมโอโซน อัตราการไหลของก๊าซโอโซน และผลของค่าพีเอช โดยขั้นตอนแรกจะทำการเติมโอโซนเป็นเวลา 30 นาที ที่อัตราการไหลของโอโซน เท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที เพื่อประเมินความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เมื่อได้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของโอโซนซึ่งมีผลกับความเข้มข้นกับปริมาณโอโซนที่จะละลายอยู่ในน้ำ และจากนั้นจะทำการศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำโดยทำการแปรเปลี่ยนที่สภาวะพีเอชในช่วง 3-8 แสดงรายละเอียดการศึกษาดังตารางที่ 3.2

ตาราง 3.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการโอโซนเนชั่น

ปัจจัยที่ศึกษา	ระยะเวลาสัมผัส	อัตราการไหลของก๊าซโอโซน	พีเอช
1. ระยะเวลาสัมผัส	0-30 นาที	1 ลิตรต่อนาที	เริ่มต้น
2. ความเข้มข้นของโอโซน	ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1	10-30 mg/l	เริ่มต้น
3. พีเอช	ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1	อัตราการไหลของก๊าซโอโซนจากการทดลองที่ 2	3.0-8.0

3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกรองอัลตราฟิลเตรชัน

เนื่องจากในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเป็นการเดินระบบอย่างต่อเนื่องโดยจะทำการควบคุมเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททในการเดินระบบกรองของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อเปลี่ยนสภาวะการเดินระบบจะทำการตรวจสอบความดันและความต้านทานที่เกิดขึ้นของเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบที่สภาวะอื่น ๆ ต่อไป โดยการเดินระบบได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำและบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาที่กำหนดมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าอุณหภูมิ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าสี ค่าความขุ่น ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)

3.5.1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

การศึกษาคูณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยจะทำการนำน้ำตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยมาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งจะมีการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น pH ความขุ่น สี ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ซีโอดี เป็นต้น

3.5.2 เยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษา

เยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เยื่อกรองที่มีขนาดรูพรุน 2-20 นาโนเมตร ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสารแขวนลอย แบคทีเรีย และไวรัสได้ โดยโมดูลที่เลือกใช้เป็นโมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hallow fiber membrane) โดยมีรายละเอียดของเมมเบรนแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ลักษณะของเยื่อกรอง	คุณสมบัติ
โมเดล	VF (SP)-0912
ความเร็วสารป้อนเข้า (ลิตร/นาท)	6-12
ลักษณะการกรอง	จากข้างในออกข้างนอก
ชนิดของเมมเบรน	โพลีซัลโฟน
พื้นที่เมมเบรน (ตารางเมตร)	6
ช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่กักกั้นสาร (MWCO) (ดาร์ตัน)	20,000
ช่วงค่าพีเอชที่ใช้งาน	2-13
ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (องศาเซลเซียส)	3-60
ช่วงแรงดันในการเดินระบบ	2-3 บาร์ (30-45 ปอนด์/ตารางนิ้ว)
แรงดันล้างย้อน	2 บาร์ (30 ปอนด์/ตารางนิ้ว)
รูปแบบการเดินระบบ	แบบไหลขวาง (Cross Flow)

3.5.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเพอมีเอทฟลักซ์

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของเยื่อกรองเมมเบรนในการเดินระบบกรองจะแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัด ในการศึกษาได้เลือกใช้สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มาทำการเดินระบบ (ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์,

2552) โดยแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์ เท่ากับ 60 80 และ 100 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.5 การแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์

สารป้อนเข้า	สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท	สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)		
		60	80	100
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	25:75			

3.5.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสัดส่วนเพอมีเอทและเพอมีเอทต่อรีเทนเทท

ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททจากหัวข้อที่ผ่านมาเมื่อทราบถึงเพอมีเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดจะนำเพอมีเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมมาแปรผันสัดส่วนน้ำเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.6 การแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท

สารป้อนเข้า	สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท
น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	25:75
	50:50
	75:25

3.6 การศึกษาการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชัน

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบแต่ละขั้นตอนในการศึกษาครั้งนี้จะนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาผ่านกระบวนการในแต่ละขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะทำการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และชุดกรองคาร์บอน 100 ไมครอน สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนโดยใช้โพอลิอิมินัมคลอไรด์ที่มีปริมาณสารที่เหมาะสม น้ำส่วนใสจะถูกนำมาผ่านชุดกรองคาร์บอน 100 ไมครอน เพื่อดักอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนของระบบอัลตราฟิลเตรชัน เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm มีความสามารถในการกำจัดสารแขวนลอย คอลลอยด์ แบคทีเรีย และไวรัส เป็นต้น สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดคือความขุ่น สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียคือสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท และเพอมีเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมในขั้นตอนการศึกษาที่ผ่านมา จากนั้นจะผ่านกระบวนการศึกษาโอโซนเนชั่น ซึ่งเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในการทดลองนี้จะใช้สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเติมโอโซนจากการทดสอบที่ผ่านมา

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยวิธีตาม Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2005) โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณลักษณะน้ำมีดังนี้ พีเอช ของแข็งละลายน้ำ (TDS) สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) สี ความขุ่น COD และ DOC ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	pH Meter	-
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	Conductivity/TDS Meter	-
สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Conductivity/TDS Meter	Standard Method 2510B
สี	Spectrophotometer	-
ความขุ่น	Turbidity Meter	Standard Method 2130 B
UV ₂₅₄	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	Standard Method 5910 C
DOC	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	Standard Method 5310 C
COD	-	Close Reflux



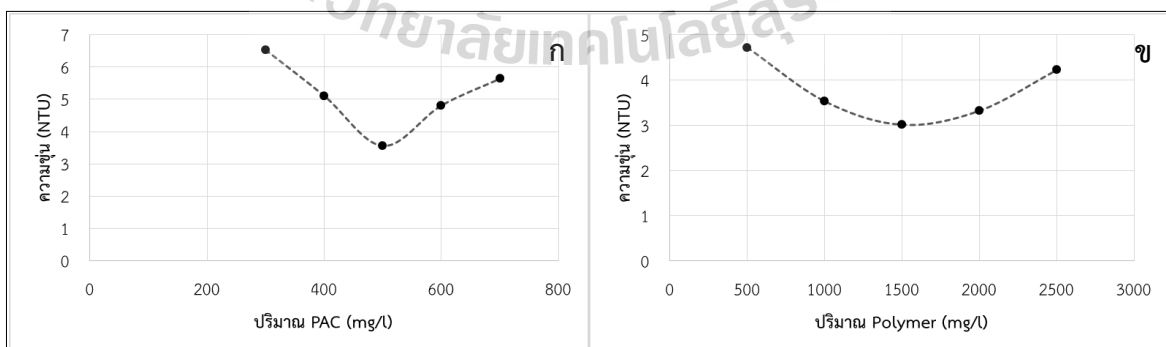
บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในขั้นที่สองจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา มาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการโอโซน โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

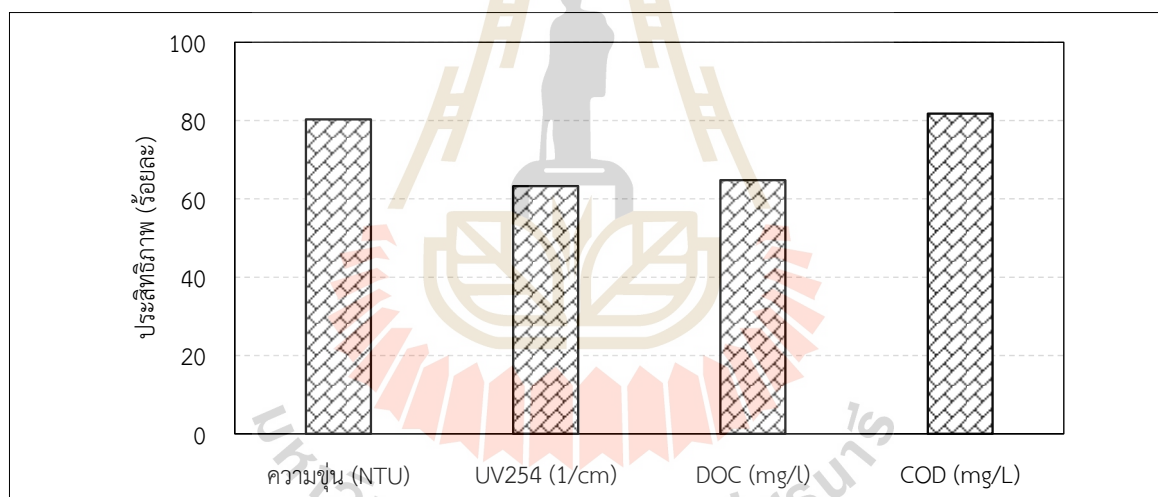
การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นต้นโดยสารเคมีที่ใช้ในการก่อตะกอนและรวมตะกอนในการศึกษานี้จะใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และโพลีเมอร์ โดยจะทำการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมหลังจากการทดสอบ Jar test พบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียใช้ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมเท่ากับ 1,500 mg/L และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้ปริมาณ PAC เท่ากับ 500 mg/L แสดงดังรูปที่ 4.1 จากคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดพบว่า มีความจำเป็นต้องบำบัดก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนถัดไป ส่วนค่าของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพนั้นหามาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดในขั้นตอนต่อไป โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD และ DOC ประมาณ 10.40 และ 47.27 mg/L อีกทั้งยังมีความขุ่นของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 16-21 NTU และเมื่อน้ำทิ้งดังกล่าวผ่านขั้นตอนของกระบวนการโคแอกกูเลชันซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะสามารถกำจัดสารแขวนลอยในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 80.31 ซึ่งมีความขุ่นอยู่ในช่วง 3-5 NTU นอกจากนี้ในขั้นตอนกระบวนการโคแอกกูเลชันยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ DOC ได้มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 81.78 และ 64.76 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของน้ำทิ้งหลังกระบวนการโคแอกกูเลชันยังมีค่า DOC ในปริมาณที่ยังสูงอยู่จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งดังกล่าวหากต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 4.1 ปริมาณ PAC (ก) และ Polymer (ข) ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำทิ้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา		หลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช	4.292	0.35	4.32	0.11
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.533	0.012	1.98	1.09
ค่าของแข็งละลายน้ำ (mg/l)	260	8.00	713.33	133.29
สี (Pt-co)	120.16	43.57	49.355	4.28
ความขุ่น (NTU)	17.42	3.95	3.43	1.61
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.944	0.018	0.347	0.013
DOC (mg/l)	47.27	0.91	16.66	1.832
COD (mg/L)	106.40	21.41	19.39	4.306



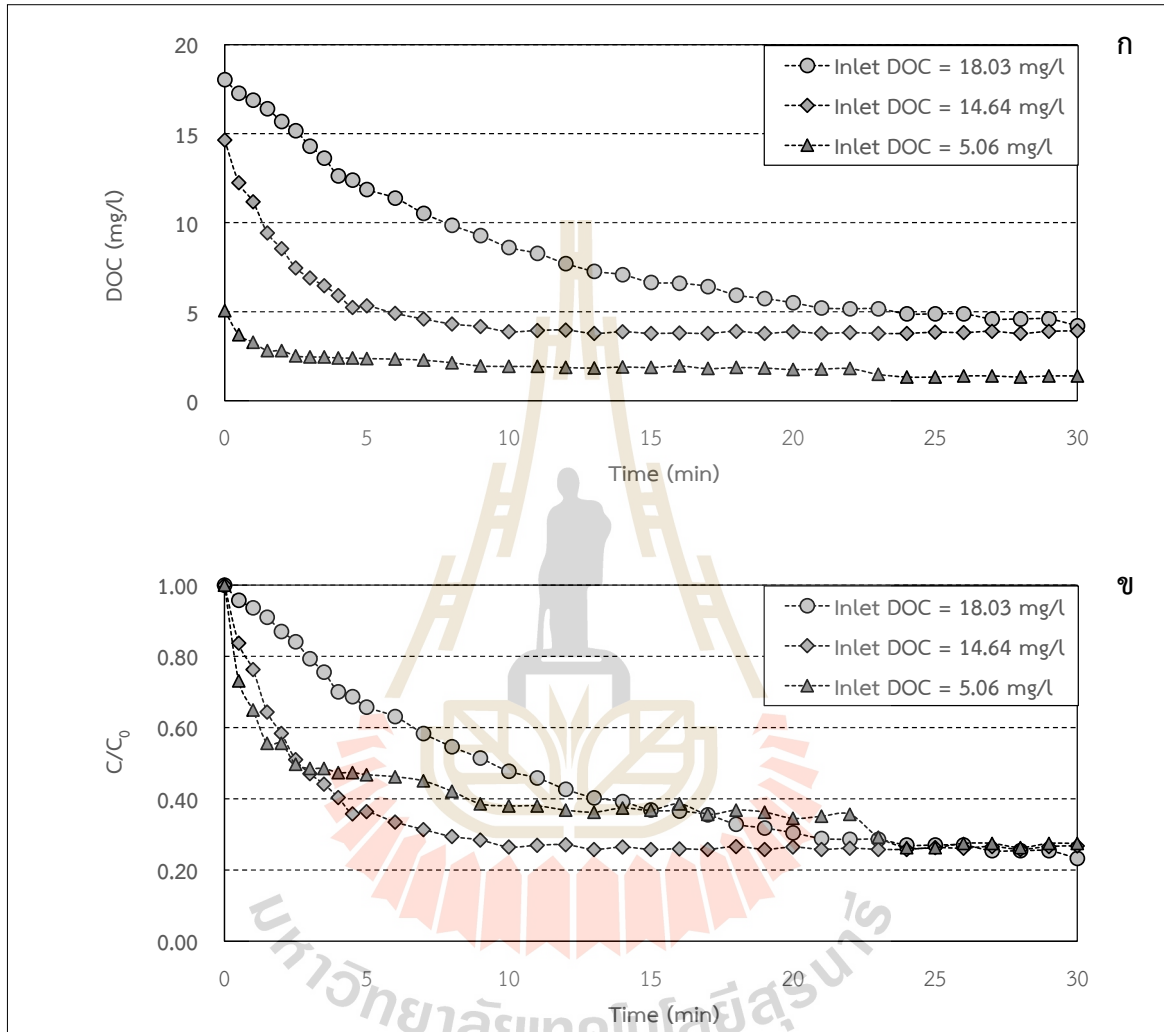
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชั่น

4.2.1 ผลของระยะสัมผัสในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ

การศึกษาผลของระยะสัมผัสในการกำจัด DOC ในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 18.03 14.64 และ 5.06 mg/l ที่ความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 20 mg/l เพื่อพิจารณาความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัด จากผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ความเข้มข้นมีการลดลงของ DOC ที่ไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 (ข) จะพบว่ามีแนวโน้มของค่า C/C_0 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่ระยะเวลาประมาณ 25 นาที มีค่า C/C_0 ที่ใกล้เคียงกัน เมื่อ

พิจารณาในรูปของความเข้มข้นที่หลงเหลือหลังจากที่ระยะเวลา 25 นาที มีค่า DOC น้อยกว่า 4 mg/l แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) โดยที่ความเข้มข้น 18.03 14.64 และ 5.06 mg/l มีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC ที่ระยะเวลา 25 นาที ร้อยละ 73 74 และ 74 ตามลำดับ ดังนั้นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบเท่ากับ 25 นาที



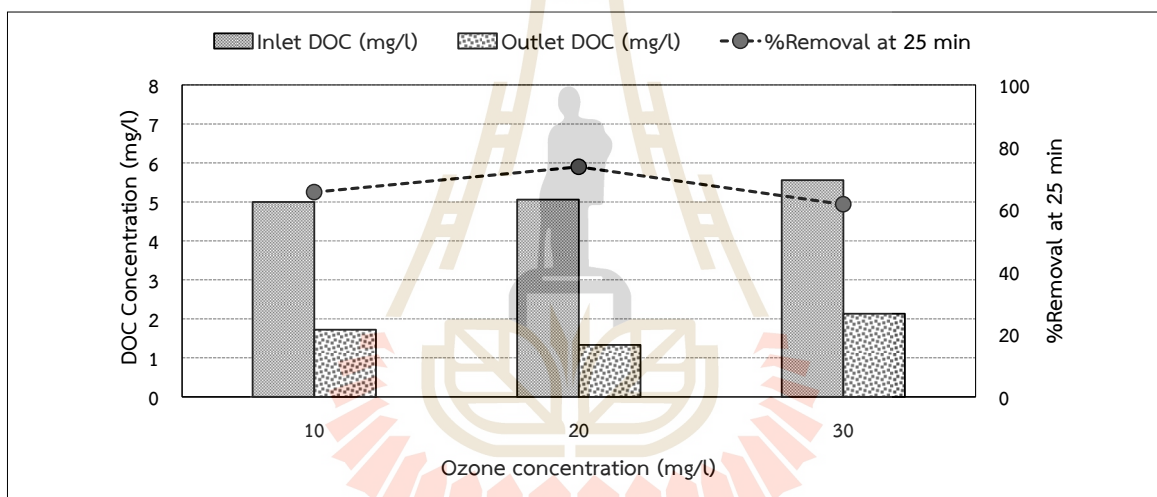
รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้น DOC เริ่มต้นต่อระยะเวลาสัมผัสในกระบวนการโอโซนเนชั่น

(ก) ความเข้มข้นของ DOC

(ข) สัดส่วนความเข้มข้น ณ เวลานั้น ๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น

4.2.2 ผลของความเข้มข้นก๊าซโอโซนในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ

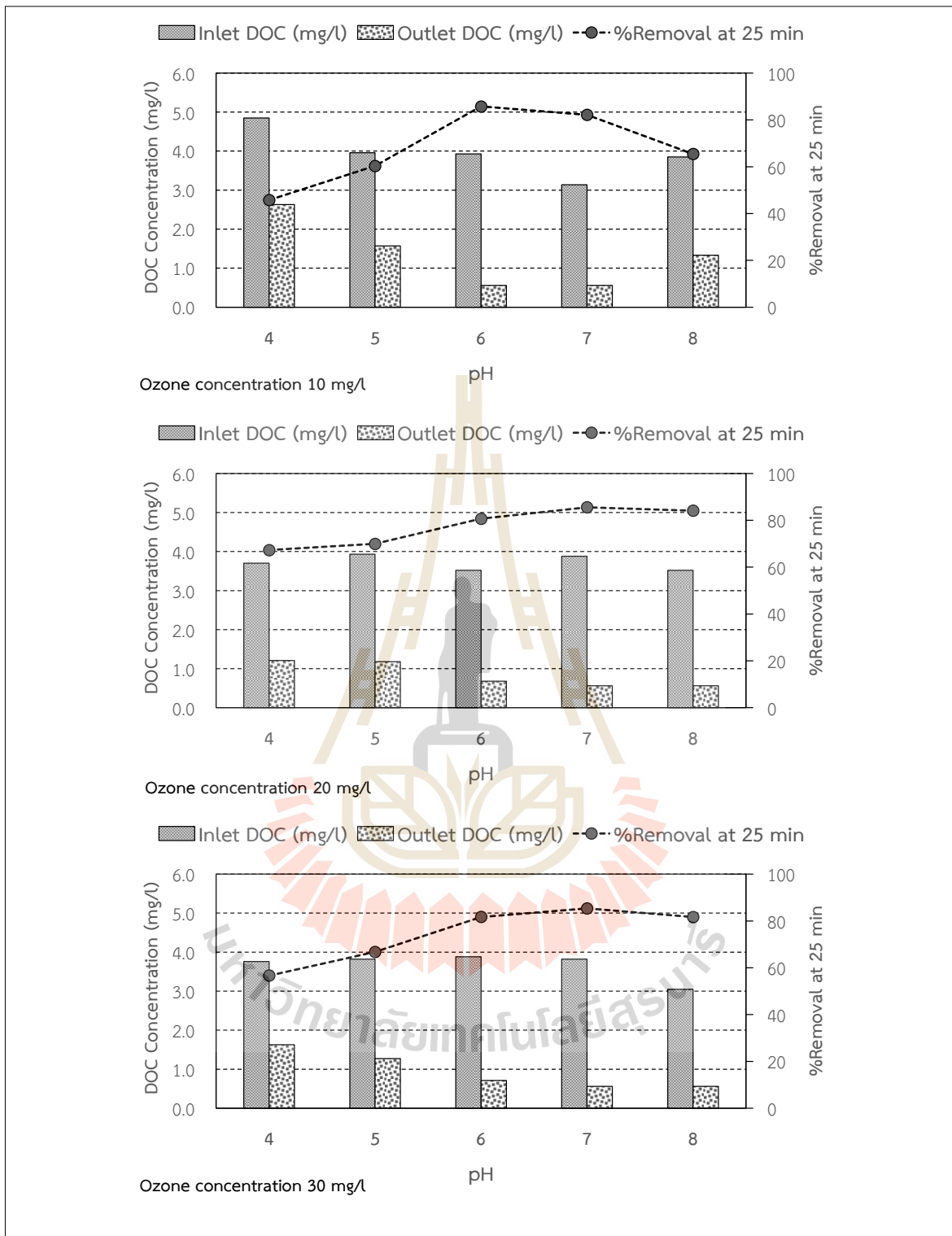
ความเข้มข้นของโอโซนมีผลต่อการกำจัด DOC ในน้ำซึ่งเป็นอย่างมากหากมีการเติมมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการเดินระบบ และเกิดกลิ่นที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของตัวผู้เดินระบบ หากมีความเข้มข้นน้อยเกินไปอาจจะส่งให้ไม่สามารถกำจัดสาร DOC ได้ดีเท่าที่ควร ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการกำจัดสาร DOC ในน้ำซึ่งโดยควบคุมสถานะที่ระยะเวลาสัมผัส 25 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของ DOC อยู่ที่ประมาณ 5 mg/l จากรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด DOC ที่ระยะเวลาสัมผัส 25 นาที ที่ความเข้มข้นของโอโซน 20 mg/l มีประสิทธิภาพสูงสุด อยู่ที่ร้อยละ 73.72 รองลงมาคือที่ความเข้มข้นของโอโซน 10 และ 30 mg/l โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC ร้อยละ 65.60 และ 61.69 ตามลำดับ จากการสังเกตทางกายภาพพบว่าที่ความเข้มข้นของโอโซน 30 mg/l มีค่าสีที่เข้มข้นกว่าที่สถานะความเข้มข้นของโอโซนอื่น ๆ และมีกลิ่นก๊าซโอโซน ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมของการเติมความเข้มข้นของโอโซนมีค่าเท่ากับ 20 mg/l ที่ระยะเวลาสัมผัส 25 นาที



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นโอโซนต่อการกำจัด DOC

4.2.3 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ

การศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อโอโซนในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ โดยกำหนดให้โอโซนมีความเข้มข้นเท่ากับ 20 mg/l ที่พีเอช 4 5 6 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าที่เวลา 25 นาที ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC ร้อยละ 46.87 67.30 69.97 80.68 85.57 และ 84.09 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นโอโซนทั้ง 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 10 20 และ 30 mg/l พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันคือที่ค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC สูงสุด ซึ่งค่าพีเอชมีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของโอโซนต่อสารอินทรีย์ต่างๆ ในสถานะที่พีเอชมีค่าน้อยกว่า 7 โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ช้า แต่เมื่อพีเอชมีค่ามากกว่า 8 ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็ว เนื่องจากโอโซนสลายตัวให้ไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical, OH°) ที่เป็นตัวออกซิไดซ์รุนแรง



รูปที่ 4.5 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการกำจัด DOC

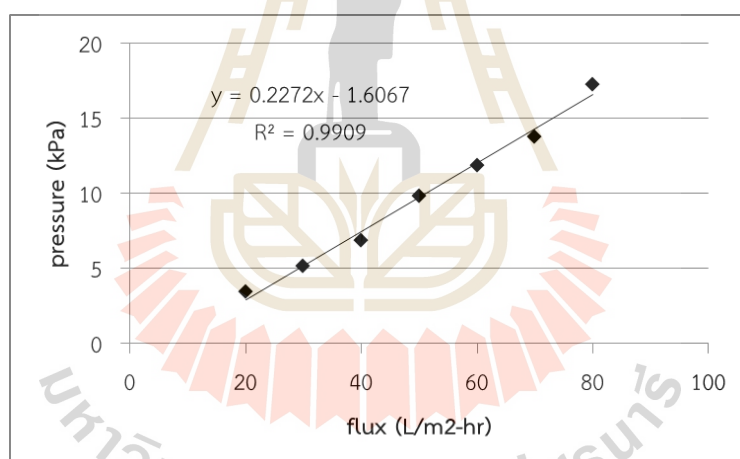
4.3 ความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน

การเดินระบบกรองจะทำการวัดความต้านทานเริ่มต้นเพื่อเป็นการตรวจสอบความต้านทานของระบบกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเริ่มเดินระบบ ด้วยการกรองน้ำสะอาดผ่านระบบเยื่อกรองเมมเบรน โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์และแรงขับดันเพื่อคำนวณหาความต้านทานของเมมเบรนไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานเมมเบรนที่ผ่านการใช้งานแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 6.3 สามารถหาความต้านทานเริ่มต้นได้ จากสมการของ Darcy โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับดันกับเพอมีเอทฟลักซ์ด้วยน้ำประปาได้ค่า R_f เท่ากับ $0.8179 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$

จากสมการของ Darcy

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t}$$

โดยที่ J = Permeate flux (L/m.²h)
 ΔP = Transmembrane pressure (Pa)
 μ = Viscosity (N.s/m.²)
 R_t = Total resistance for filtration or Hydraulic resistance of clean membrane (m⁻¹)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับดันกับเพอมีเอทฟลักซ์

4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกรองอัลตราฟิลเตรชัน

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน โดยศึกษาผลของการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์ และผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท

4.4.1 ผลของการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์

การศึกษาผลของการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์โดยจะพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพของการกำจัดสี ความขุ่น UV_{254} และ DOC โดยจะเดินระบบที่สภาวะเพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 L/m²/hr ที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททที่ 25:75

ก) ผลของเพอมีเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดสี

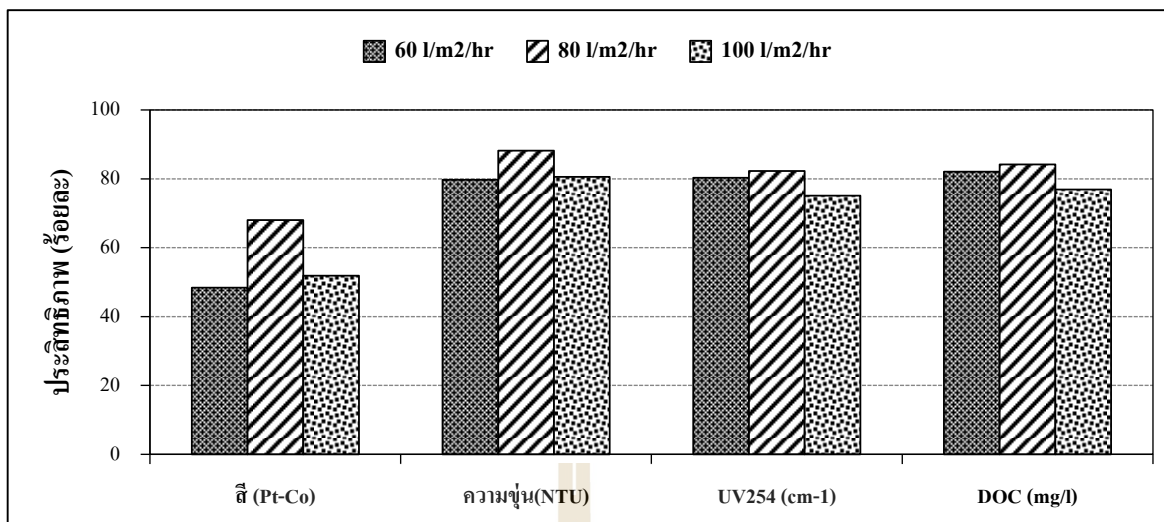
การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่า ที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $60 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 35-45 Pt-Co ที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $80 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 25-40 Pt-Co และที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 20-45 Pt-Co จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ สามารถกำจัดสีได้น้อยกว่าที่สภาวะเพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $80 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ คิดเป็นร้อยละ 48.37 68.05 และ 51.85 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.7

ข) ผลของเพอมีเอทฟลักซ์ต่อการกำจัดความขุ่น

น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่า ที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $60 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 2-6 NTU ที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $80 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 1-3 NTU และที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ค่าของความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 2-7 NTU จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 และ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ มีความสามารถในการกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าที่สภาวะเพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $80 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ 60 80 และ $100 \text{ L/m}^2\text{-hr}$ คิดเป็นร้อยละ 79.75 88.21 และ 80.57 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์

เพอมีเอท	Condition	สี (Pt-Co)	ความขุ่น (NTU)	TDS (g/L)	UV254 (cm^{-1})	DOC (mg/l)
60 $\text{L/m}^2\text{/hr}$	น้ำทิ้งเริ่มต้น	80.000	21.634	0.260	0.995	49.892
	หลังตกตะกอน และผ่านชุดกรองคาร์บอน	44.758	5.236	0.732	0.494	24.200
	หลังผ่านชุดกรองอัลตราฟิลเตรชัน	41.303	4.381	0.761	0.196	8.918
80 $\text{L/m}^2\text{/hr}$	น้ำทิ้งเริ่มต้น	103.000	11.833	0.260	0.965	48.354
	หลังตกตะกอน และผ่านชุดกรองคาร์บอน	35.848	2.395	0.478	0.412	20.015
	หลังผ่านชุดกรองอัลตราฟิลเตรชัน	32.909	1.396	0.461	0.171	7.634
100 $\text{L/m}^2\text{/hr}$	น้ำทิ้งเริ่มต้น	95.463	19.642	0.260	0.944	47.277
	หลังตกตะกอน และผ่านชุดกรองคาร์บอน	50.263	4.546	0.789	0.365	17.585
	หลังผ่านชุดกรองอัลตราฟิลเตรชัน	45.963	3.816	0.794	0.235	10.918



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดที่แต่ละสภาวะของเพอมีเอทพลักซ์

ค) ผลของเพอมีเอทพลักซ์ต่อการกำจัด DOC

น้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่า ที่เพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 60 l/m²-hr ค่าของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 5-12 mg/l ที่เพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 80 l/m²-hr ค่าของของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 3-10 mg/l และที่เพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 100 l/m²-hr ค่าของของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 8-15 mg/l จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่เพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 60 และ 100 l/m²-hr สามารถกำจัด DOC ได้น้อยกว่าที่สภาวะเพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 80 l/m²-hr ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่เพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 60 80 และ 100 l/m²-hr คิดเป็นร้อยละ 82.13 84.21 และ 76.91 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.7

4.4.2 ผลการศึกษาของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท

การศึกษาผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเททโดยจะพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพของการกำจัดสี ความขุ่น UV₂₅₄ และ DOC โดยจะเดินระบบที่สภาวะเพอมีเอทพลักซ์เท่ากับ 80 l/m²/hr ที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเททที่ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยมีผลการศึกษาดังนี้

ก) ผลของสัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเททต่อการกำจัดสี

การนำน้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่า ที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท เท่ากับ 25:75 ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 25-40 Pt-Co ที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท เท่ากับ 50:50 ค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 27-42 Pt-Co และที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท เท่ากับ 75:25 มีค่าของสีหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 32-51 Pt-Co จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท 50:50 และ 75:25 สามารถกำจัดสีได้น้อยกว่าที่สัดส่วนเพอมีเอทอโรเทินเทท เท่ากับ 25:75 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ได้หลังผ่านการกรองที่ที่สัดส่วน

เพอมีเอทต่อรีเทนเททที่ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 68.05 64.39 และ 48.23 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.8

ข) ผลของสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททต่อการกำจัดความขุ่น น้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียมาผ่านระบบกรองพบว่า ที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 ค่าความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 1-3 NTU ที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 ค่าความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 2-7 NTU และที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 ค่าของความขุ่นหลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 3-6 NTU จะเห็นว่าในการเดินระบบกรองที่ สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท 50:50 และ 75:25 สามารถกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้หลังผ่านการ กรองที่ที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททที่ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 88.21 87.07 และ 76.55 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.8

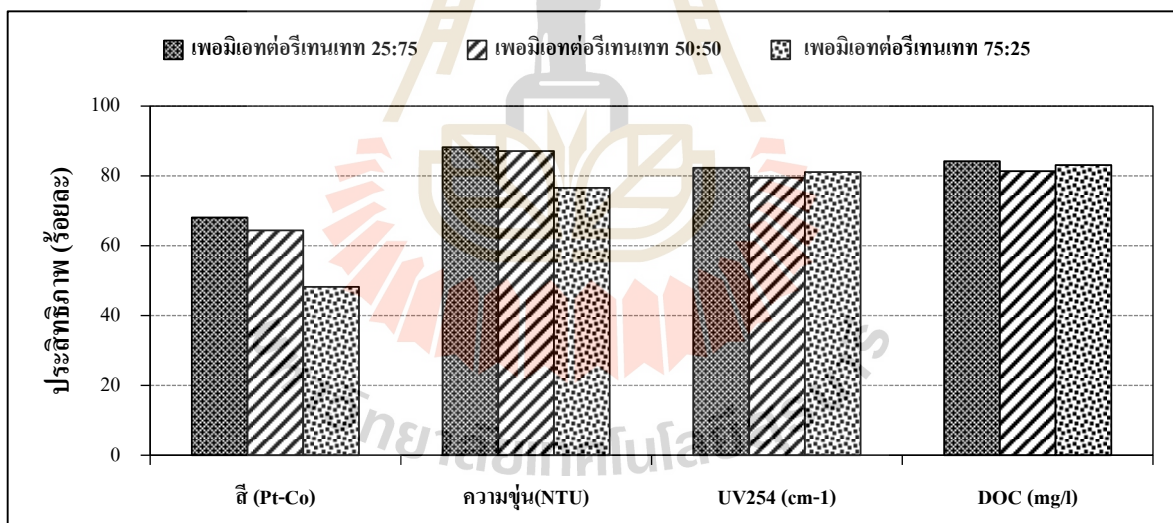
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันของน้ำที่จากระบบบำบัด น้ำเสียด้วยการแปรรูปสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท

เพอมีเอท ต่อรีเทนเทท	Condition	สี (Pt-Co)	ความขุ่น (NTU)	TDS (g/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mg/L)
25:75	น้ำทิ้งเริ่มต้น	103.000	11.833	0.260	0.965	48.354
	หลังตกตะกอน และผ่าน ชุดกรองคาร์บอน	35.848	2.395	0.478	0.412	20.015
	หลังผ่านชุดกรองอัลตรา ฟิลเตรชัน	32.909	1.396	0.461	0.171	7.634
50:50	น้ำทิ้งเริ่มต้น	97.000	20.067	0.250	0.945	47.328
	หลังตกตะกอน และผ่าน ชุดกรองคาร์บอน	38.409	3.098	0.811	0.207	9.499
	หลังผ่านชุดกรองอัลตรา ฟิลเตรชัน	34.545	2.595	0.797	0.194	8.823
75:25	น้ำทิ้งเริ่มต้น	87.253	20.367	0.270	0.922	46.149
	หลังตกตะกอน และผ่าน ชุดกรองคาร์บอน	49.924	5.409	0.779	0.176	7.914
	หลังผ่านชุดกรองอัลตรา ฟิลเตรชัน	45.167	4.776	0.776	0.174	7.813

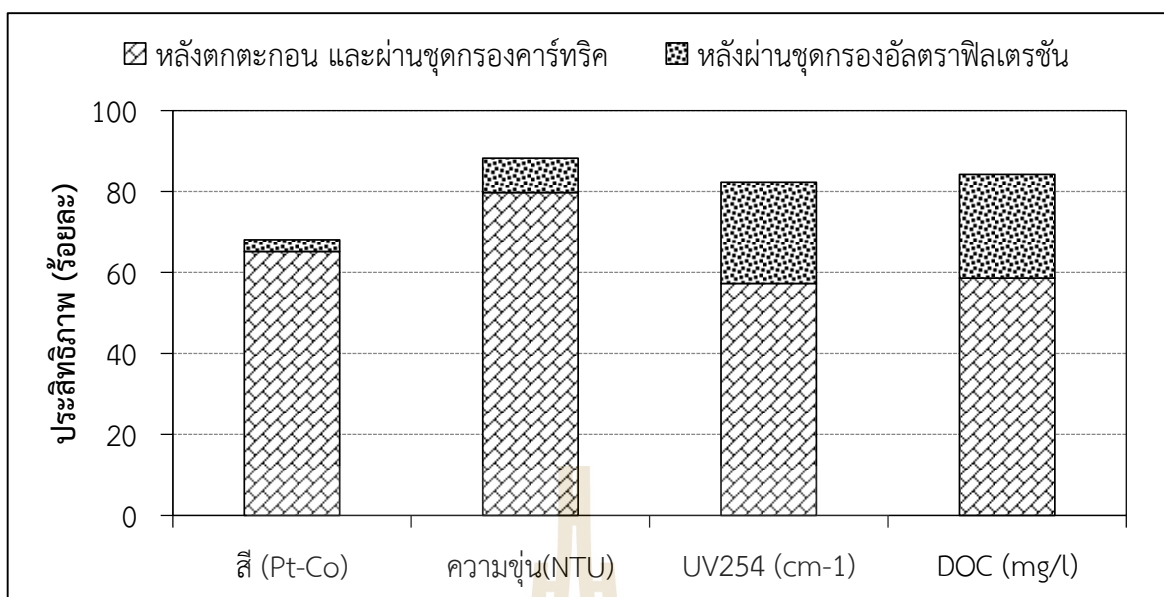
ค) ผลของสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททต่อการกำจัด DOC น้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่า ที่สัดส่วน เพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 ค่าของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 3-10 mg/L ที่สัดส่วน เพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 50:50 ค่าของของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 5-12 mg/L และที่ สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 75:25 ค่าของของ DOC หลังผ่านการกรองอยู่ในช่วง 4-15 mg/L จะ เห็นว่าในการเดินระบบกรองที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท 50:50 และ 75:25 สามารถกำจัด DOC ได้

น้อยกว่าที่สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท 25:75 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และประสิทธิภาพการกำจัด DOC ที่ได้หลังผ่านการกรองที่ที่สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเททที่ 25:75 50:50 และ 75:25 คิดเป็นร้อยละ 84.21 81.36 และ 83.07 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.8

จากผลการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมีเอทอริกซ์ต่าง ๆ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบที่เพอมีเอทอริกซ์มีค่าเท่ากับ $80 \text{ U/m}^2\text{-hr}$ และที่สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเททเท่ากับ 25:75 โดยที่สภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และ DOC คิดเป็นร้อยละ 68.05 88.21 และ 84.21 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำที่พบว่ากระบวนการตกตะกอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดแต่ในขณะเดียวกันกลไกการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติจะอยู่ในขั้นตอนของการกรองด้วยชุดคาร์บอนขนาด 100 ไมครอน และระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน แสดงดังรูปที่ 4.9 โดยจะพบว่าสี และความขุ่นสามารถกำจัดได้ในขั้นตอนการตกตะกอนด้วยสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และโพลีเมอร์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และความขุ่น ในขั้นตอนดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 68.93 และ 78.68 ของประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมด ตามลำดับ สำหรับการกำจัด DOC ในน้ำที่กระบวนการตกตะกอนสามารถกำจัดได้เพียงร้อยละ 7.85 ของประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมด และเมื่อเข้าระบบกรองด้วยชุดคาร์บอนและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดโดยรวมสูงถึงร้อยละ 76.36 ของประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามยังพบความเข้มข้นของ DOC ในปริมาณที่ยังสูงอยู่จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ดังกล่าวหากต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการบำบัดที่การแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท



รูปที่ 4.9 สัดส่วนของการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งในแต่ละขั้นตอนที่สถานะเพอมีเอทฟลักซ์เท่ากับ $80 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$ และสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75

4.5 ผลการศึกษาการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

จากผลการศึกษาการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันที่เพอมีเอทฟลักซ์ต่าง ๆ และสัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบที่เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าเท่ากับ $80 \text{ l/m}^2\cdot\text{hr}$ และที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเททเท่ากับ 25:75 จากนั้นได้ทำการเดินระบบที่สภาวะดังกล่าวร่วมกับกระบวนการโอโซนเนชั่นโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการโอโซนที่สภาวะความเข้มข้นของโอโซน 20 mg/l ระยะเวลาสัมผัส 25 นาที โดยผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยพิจารณาในส่วนของการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป DOC และ COD ของน้ำในแต่ละขั้นตอนของการเดินระบบ

ก) ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV_{254}

ค่า UV_{254} เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ซึ่งสามารถดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่า UV_{254} อยู่ในช่วง $0.994\text{-}0.876 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อนำน้ำทิ้งมาผ่านกระบวนการโคแอกคูเลชันพบว่ามีปริมาณลดลงไม่มากนักอยู่ในช่วง $0.902\text{-}0.753 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อเข้าสู่กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง $0.172\text{-}0.185 \text{ cm}^{-1}$ และเมื่อผ่านการเติมโอโซนในน้ำค่าดังกล่าวลดลงเหลืออยู่ในช่วง $0.050\text{-}0.062 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าเป็นร้อยละ 94.01 แสดงดังตารางที่ 4.4

ข) ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD

นอกจากนี้ยังได้ทำยังทำการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ที่วัดได้ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง $70.38\text{-}120.09 \text{ mg/l}$ และกระบวนการ

ร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิเคชั่น สามารถลดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ได้มากกว่ากระบวนการอัลตราฟิเคชั่นเพียงกระบวนการเดียว โดยสามารถลดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ในกระบวนการร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิเคชั่นและกระบวนการอัลตราฟิเคชั่นได้ในช่วง 10-15 mg/l และ 14-20 mg/l ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาน้ำที่เข้ามาผ่านกระบวนการโคแอกคูเลชัน จะสามารถลดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 81.78 ของสัดส่วนการกำจัดทั้งหมด ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในการกำจัด COD แสดงถึงลักษณะน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ กระบวนการดังกล่าวจึงสามารถกำจัด COD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

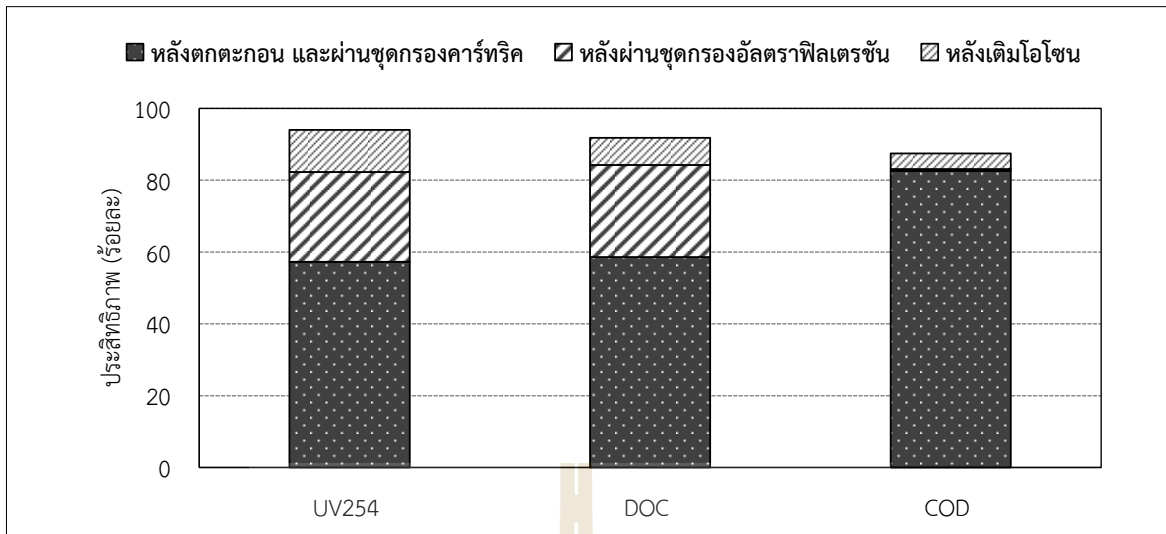
ค) ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า DOC

การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Organic Carbon: DOC) โดยค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่วัดได้ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 46-48 mg/L ดังตารางที่ 4.4 พบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ด้วยกระบวนการร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิเคชั่นมีความสอดคล้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในรูป UV₂₅₄ กล่าวคือ กระบวนการดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้มากกว่ากระบวนการโคแอกคูเลชัน โดยสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 91.76 ดังรูปที่ 4.10

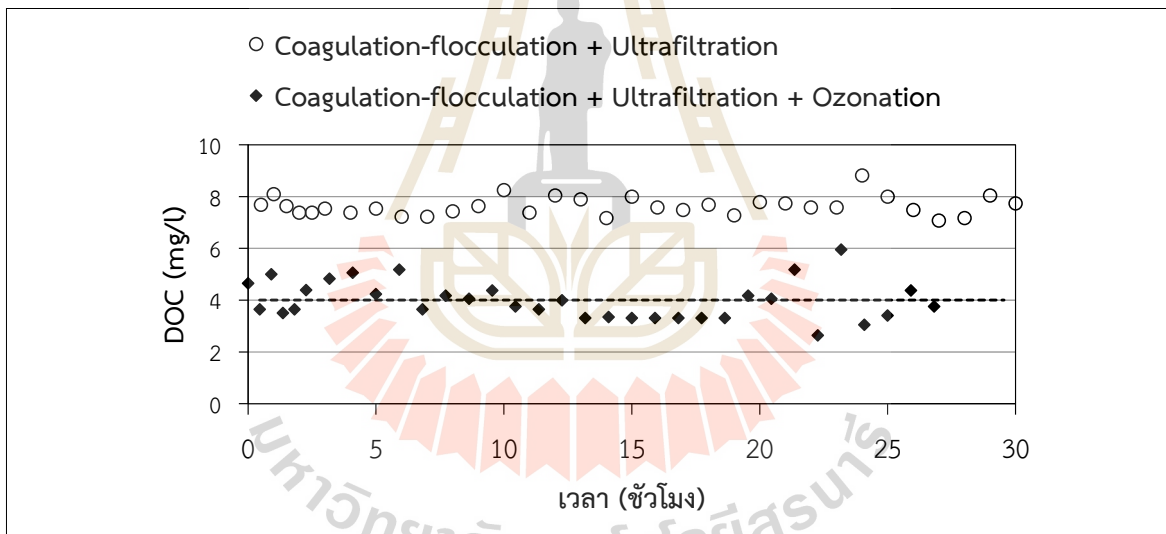
จากผลการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิเคชัน พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการนำน้ำดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อไป โดยแนวโน้มของค่า DOC มีค่าน้อยกว่า 4 mg/l เมื่อเทียบกับกระบวนการกรองอัลตราฟิเคชันเพียงอย่างเดียวซึ่งมีค่า DOC มากกว่า 4 mg/l แสดงดังรูปที่ 4.11 ดังนั้นน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิเคชันมีแนวโน้มอาจจะไม่ก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะของน้ำที่เข้าและออกของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิเคชัน

Condition		UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mg/l)	COD (mg/l)
เพอมีเอทฟลักซ์ 80 l/m ² .h สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75	น้ำทิ้งเริ่มต้น	0.965	48.354	106.400
	หลังตกตะกอน และผ่านชุด กรองคาร์บอน	0.412	20.015	18.52
	หลังผ่านชุดกรองอัลตรา ฟิเคชัน	0.171	7.634	18.01
	หลังเติมโอโซน	0.058	3.983	13.39



รูปที่ 4.10 สัดส่วนของการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่น และการกรองอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.11 ค่า DOC ของน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

4.6 คุณสมบัติของน้ำหลังผ่านระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชัน

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยการประยุกต์ใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันด้วยการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่า ยังไม่สามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/l ซึ่งจะก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร จึงจำเป็นต้องนำน้ำทิ้งที่ผ่านระบบกรองด้วยระบบอัลตราฟิลเตรชันต่อยังระบบโอโซนเนชั่นซึ่งมีแนวโน้มที่มีค่า DOC น้อยกว่า 4 mg/l ซึ่งมีแนวโน้มอาจจะไม่ก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชัน แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำที่ออกจากกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชันและคุณภาพน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ใหม่

พารามิเตอร์	มาตรฐานน้ำประปา (U.S.EPA, 2006)	Coagulation-flocculation + Ultrafiltration		Coagulation-flocculation + Ultrafiltration + Ozonation	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สี (Pt-Co)	<15	32.909	6.648	14.288	3.680
ความขุ่น (NTU)	<5	1.396	0.424	3.285	0.359
TDS (g/L)	<0.5	0.461	0.084	0.468	0.081
Conduc ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-	0.925	0.173	0.937	0.166
UV ₂₅₄ (cm^{-1})	-	0.171	0.012	0.058	0.013
DOC (mg/l)	-	7.634	0.615	3.983	0.743
COD (mg/l)	-	18.01	6.720	13.39	6.580

การนำน้ำกลับมาใช้ในประโยชน์สำหรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อผ่านระบบกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชันพบว่า ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้เหลือน้อยกว่า 4 mg/l เมื่อเติมคลอรีนลงไปใต้น้ำอาจส่งผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (Hans et al., 1993) และเมื่อใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชันพบว่า ค่าของสีน้อยกว่า 15 Pt-Co และความขุ่นของน้ำน้อยกว่า 5 NTU นอกจากนี้ยังพบว่าค่าของแข็งละลายน้ำมีค่าน้อยกว่า 500 mg/l (U.S.EPA, 2006) และยังสามารถลดค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ให้มีค่าลงอีกหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชั่น อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำที่ออกจากกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและการกรองอัลตราฟิลเตรชันมีคุณภาพที่สูงกว่ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไป ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งในการอุปโภคและบริโภค ตลอดจนการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์

ประเภท	การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์
การเกษตร (Agricultural Irrigation)	ใช้ในการเกษตร เช่น รดน้ำพืชผลทางการเกษตร
พัฒนาพื้นที่ (Landscape Irrigation)	ใช้รดน้ำสนามกอล์ฟ สนามเด็กเล่น บริเวณพื้นที่รอบ ๆ ย่านที่พักอาศัย หรือรอบ ๆ ย่านศูนย์การค้า
กระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Activities)	ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น ระบบหล่อเย็น หมอต้มไอน้ำ หรือใช้เป็นน้ำล้างทำความสะอาด
การเติมน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge)	ใช้เพื่อเติมน้ำสู่ใต้ดินเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดิน หรือควบคุมระดับความเค็มในน้ำ
การพักผ่อนหย่อนใจ (Recreational and Environmental)	สวนสาธารณะใช้ตกปลา พายเรือ และอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กิจกรรมสันทนาการ (กรณีแหล่งน้ำไม่ควบคุม) หรือเพื่อสันทนาการ เช่น สระว่ายน้ำ และน้ำในทะเลสาบ (กรณีแหล่งน้ำไม่ควบคุม)
กิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชนเมือง (Non-potable Urban)	ใช้เป็นน้ำชักโครก ใช้เป็นน้ำดับเพลิง ใช้ในกิจกรรมก่อสร้าง



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในขั้นที่สองจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา มาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการโอโซน สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนคือโพลีลูมินัมคลอไรด์ โดยนำมาทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม จะนำมาอ้างอิงสำหรับการตกตะกอนสารแขวนลอยและคอลลอยด์ของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำส่วนใสจะถูกนำมาผ่านชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอนเพื่อกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันและกระบวนการโอโซนเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ โดยจากผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมหลังจากการทดสอบ Jar test พบว่าน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียใช้ปริมาณโพลีลูมินัมเท่ากับ 1,500 mg/l และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้ปริมาณ PAC เท่ากับ 500 mg/l โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD และ DOC ประมาณ 10.40 และ 47.27 mg/l คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 81.78 และ 64.76 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีความขุ่นของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 16-21 NTU มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 80.31

2. ผลของปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของกระบวนการโอโซนเนชัน โดยได้ทำการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นก๊าซโอโซน และพีเอชที่เหมาะสมในการเดินระบบ พบว่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบเพื่อเกิดปฏิกิริยาในการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับ 25 นาที สภาวะที่เหมาะสมของการเติมความเข้มข้นของโอโซนมีค่าเท่ากับ 20 mg/l และพีเอชประมาณ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัด DOC สูงสุด ซึ่งค่าพีเอชมีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของโอโซนต่อสารอินทรีย์ต่างๆ ในสภาวะที่พีเอชมีค่าน้อยกว่า 7 โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ต่างๆได้ช้า แต่เมื่อพีเอชมีค่ามากกว่า 8 ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็ว เนื่องจากโอโซนสลายตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH[•]) ที่เป็นตัวออกซิไดซ์รุนแรง

3. การศึกษาผลของเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนน้ำเพอมีเอทต่อรีเทนเททที่เหมาะสมในการเดินระบบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบที่เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าเท่ากับ 80 l/m²-hr และที่สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 โดยที่สภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และ DOC คิดเป็นร้อยละ 68.05 88.21 และ 84.21 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามยังพบความเข้มข้นของ DOC ในปริมาณที่ยังสูงอยู่จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งดังกล่าวหากต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

4. จากผลการศึกษาการเดินระบบรวมระหว่างระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการโอโซน ที่สภาวะในการเดินระบบที่เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าเท่ากับ 80 l/m²-hr สัดส่วนเพอมีเอทต่อรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 และการเติมโอโซนที่สภาวะความเข้มข้นของโอโซน 20 mg/l ระยะเวลาสัมผัส 25 นาที พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมีค่า UV₂₅₄ ซึ่งเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) มีค่าดังกล่าวลดลงเหลืออยู่ในช่วง 0.050-0.062 cm⁻¹ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าเป็นร้อยละ

94.01 สามารถลดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 81.78 และสามารถลดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ได้ประสิทธิภาพร้อยละ 91.76 จากผลการเดินระบบร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน พบว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการนำน้ำดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่า DOC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 mg/l ดังนั้นน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโอโซนเนชั่นและระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันมีแนวโน้มอาจจะก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ควรมีการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมด้วยทั้งทางด้านการมีส่วนร่วมของชุมชน ผลกระทบต่อสุขภาพ และนอกจากนี้ในงานวิจัยนี้จะพบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีหากมีระบบร่วมกับโอโซนเนชั่นอาจมีแนวโน้มในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำทิ้งได้เช่นกัน



เอกสารอ้างอิง

- ขวัญจิตร วงษ์ชารี. (2539). การแยกน้ำมันในน้ำเสียด้วยเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน (Ultra filtration) แบบ เซรามิก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร.
- จริยา สุขผล และสุพัฒน์ พงษ์มิตรราช. (2009). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยเมมเบรนนาโนฟิลเตรชัน. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (25R3-07) : 1-9.
- มันสิน ตันตุลเวศน์. (2547). เคมีวิทยาของน้ำละน้ำเสีย. พิมพ์ ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รัตนา จิระรัตนานนท์ . (2543). กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัดโรงพิมพ์ ไทยเส็ง.
- ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และชวลิต รัตนธรรมสกุล. (2009). ผลของความดันต่อการผลิตน้ำประปาโดยใช้เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันขนาดต้นแบบ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (25R3-05) : 1-9.
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย และ World Environment Center. (2540). คู่มือการวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2006). ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้การออกแบบการควบคุม และการแก้ปัญหา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.
- Alonso, E., Santos, A., Solis, G.J., and Riesco, P.(2001). On the feasibility of urban wastewater tertiary treatment by membranes: a comparative assessment. Water Science and Technology.141 : 39-51.
- Amy, G., and Cho, J. (1999). Interactions between Natural Organic Matter (NOM) and Membrane : Rejection and Fouling. Water Science and Technology.40(9) : 131-139.
- Asano, T. (1998). Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library. Vol. 10, ISBN 1-56676-620-6, Technomic Publishing Company, INC., USA.
- Cheremisinoff, P.N. (1995). Solids-Liquids Separation, Process Engineering Handbook Series.ISBN 1-56676-246-4, Western Hemisphere, USA.
- Drewes, J.E., Fox, P., and Reinhard, M. (2003). Comparing Microfiltration-Reverse Osmosis and Soil-Aquifer Treatment for Indirect Potable Reuse of Water. Water Research.37 : 3612-3621.
- Jiminez, M.C.S., Dominguez, P.A., and Silverio, J.M.C. (1993). Reaction kinetics of humic acid with sodium hypochlorite. Water Research.27(5) : 815-820.
- Kim, S.L., Chen, J.P., and Ting, Y.P. (2002). Study on Feed Pretreatment for Membrane Filtration of Secondary Effluent. Separation and Purification Technology.29 : 171-179.
- Mallevalle, J., Odendaal, P.E., and Wiesner, M.R. (1996). Water Treatment Process, American Water Works Association Research Foundation.ISBN 0-07-001559-7, McGraw-Hill, New York.

- Metcalf and Eddy. (1991). Wastewater Engineering Treatment: Treatment, Disposal and Reuse. 3rd Edition, ISBN 0-07-041690-7, McGraw-Hill, Singapore.
- Nkambule, T.I., Krause, R.W., Mamba, B.B., and Haarhoff, J. (2009). Removal of natural organic matter from water using ion-exchange resins and cyclodextrin polyurethanes. *Physics and Chemistry of the Earth*. 34 : 812-818.
- Parameshwaran, K., and Visvanathan, C. (1998). Recent Development in Membrane Technology for Wastewater Reuse. Conference Proceeding of Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse, Resources and Environment : Priorities and Challenges – 2nd International Conference 14-16 September, 509-516.
- Potts, D.E., Ahlert, R.C., and Wang S.S. (1981). A critical review of fouling of reverse osmosis membranes. *Desalination*. 36 : 235-264.
- Puetpaiboon, U. (1989). Treatment of Tapioca Starch Wastewater by Anaerobic Digestion Combined with Membrane Separation Process. Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Qin, J.J., Oo, M.H., Wai, M.N., Ang, C.M., Wong, F.S., and Lee, H. (2003). A Dual Membrane UF/RO Process for Reclamation of Spent Rinses from a Nickel-Plating Operation—a Case Study. *Water Research*. 37(13) : 3269-3278.
- Qin, J.J., Oo, M.H., Kekre, K.A., Knops, F., and Miller, P. (2006). Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. *Separation and Purification Technology*. 49 : 295-298.
- Schafer, A.I. (2001). Natural Organics Removal Using Membranes : Principles, Performance and Cost. ISBN No. 1-58716-093-5. Technomic Publishing Company, Inc.
- Siddiqui, M.S., Amy, G.L., and Murphy, B.D. (1997). Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter From Drinking Water Sources. *Water Research*. 31(12) : 3098-3106.
- Smith, J., Shon, H.K and Saravanamuth Vigneswaran. (2006). “Productivity enhancement in a cross-flow ultrafiltration membrane system through automated de-clogging operations”. *Journal of membrane*.
- Still, R.L., (1998). Membrane Filtration Systems for Resource Recovery. <http://www.p2pays.org/ref/01/00125.htm>, 09/12/2000.
- Tan, L., and Amy, G.L. (1991). Comparing ozonation and membrane separation for colour removal and disinfection by-product control. *Journal AWWA*. May 91 : 74-79.
- Uyak, V., Koyuncu, I. Cakmakci, M. and Toroz, I. (2008). Removal of Trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membrane. *Journal of Hazardous Materials*. 152 : 789-794.
- Walsh, M.E., Gagnon, G.A., Alam, Z., and Andrews, R.C. (2008). Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water. *Water Research*. 42 : 2135-2145.

- Wiesner, M.R., Clark, M.M., Jacangelo, J.G., Lykins, B.W., Marinas, B.J., O'Melia, C.R., Rittmann, B.E., and Semmens, M.J. (1992). Committee report : membrane processes in potable water treatment. Journal AWWA. Jan 92 : 59-67.
- Yamonato, Y., Hiasa, M., Mahmood, T., and Matsuo, T. (1989). Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank. Water Science and Technology. 21 : 43-54.



ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล รศ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร

สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224-451 โทรสาร 044-224-606

E-mail: boonchai@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

- 2547 D.Tech.Sc. (Environmental Technology and Management), Asian Institute of Technology, Thailand.
- 2536 M.Sc. (Environmental Technology), King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Thailand.
- 2534 B.Sc. (Industrial Chemistry), King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Thailand.

ประวัติการทำงาน

- ม.ค. 40 – มิ.ย. 49 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ก.ค. 49 – ปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ต.ค. 48 – พ.ย. 51 รองผู้อำนวยการศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- พ.ย. 51 – ก.พ. 52 รักษาการผู้อำนวยการศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ก.พ. 52 – ก.ย. 54 ผู้อำนวยการศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ก.ย. 54 – ก.ย. 60 ผู้อำนวยการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ก.ย. 60 – ปัจจุบัน รองอธิการบดี ฝ่ายยุทธศาสตร์ แผน และงบประมาณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานวิจัย

1. การใช้กระบวนการตะกอนลอยในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง, 2537
2. โครงการการสร้างเตาเผาขยะชุมชนพร้อมระบบกำจัดอนุภาค (เตาเผาขยะอัตรากา), 2542
3. Application of Membrane Bioreactor Systems for Landfill Leachate Treatment, 2004.
4. การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีทางเคมี, 2547.
5. Cleaner Technology in A Metal Finishing Industry in Thailand, 2005.

6. A Novel Wastewater Treatment System Using A UASB Reactor and A Downflow Hanging Sponge (DHS) Post Treatment Unit, 2005-2007.
7. การประเมินผลสัมฤทธิ์โครงการสหกิจศึกษานำร่องของประเทศไทย, 2005-2006.
8. โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคนิคและการผลิตเกลือ, 2006.
9. การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2009.
10. การพัฒนากระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อบำบัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย, 2553.
11. การพัฒนากระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศเพื่อบำบัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย, 2554.
12. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยกระบวนการร่วมโอโซนเนชั่นและอัลตราฟิลเตรชัน, 2559
13. การประเมินทางเลือกในการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทางด้านวิศวกรรม และการยอมรับของชุมชน โดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน, 2559
14. ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน; กรณีศึกษา อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา, 2559
15. การถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมกรณีศึกษา กลุ่มวิสาหกิจสิ่งทอเขตจังหวัดนครชัยบุรีรินทร์, 2561

ผลงานทางวิชาการที่นำเสนอในที่ประชุม/สัมมนาในประเทศและต่างประเทศ

1. ศุภกาญจน์ รอดย้อย และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2555. อิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการเติมอากาศต่อระบบย่อยทางชีวภาพแบบใช้อากาศ. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 11, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 21-23 มีนาคม 2555.
2. วัชรพล วงศ์เลิศอารักษ์ และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2555. ผลของการบำบัดก่อนด้วยภาวะต่างสำหรับตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีวเต็ดสลัดจ์. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 11, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 21-23 มีนาคม 2555.
3. วิมลมาศ บุญยั้งยืน และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2555. ศักยภาพระบบชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนสำหรับบำบัดน้ำเสียอะโซ. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 11, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 21-23 มีนาคม 2555.
4. ศิริกานดา ธรรมพร, พัชรินทร์ ราโช และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2555. กระบวนการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างระบบ Down-Flow Hanging Sponge (DHS) โดยใช้ราและแบคทีเรียเป็นจุลชีพ. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 11, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 21-23 มีนาคม 2555.
5. ฉันทพร บุญธรรม และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2555. แผนที่ระบุปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่อตรวจสอบของเสียในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 11, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 21-23 มีนาคม 2555.
6. วัชรพล วงศ์เลิศอารักษ์ และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2556. ผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายแอนแอโรบิกของตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีวเต็ดสลัดจ์. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 12, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 27-29 มีนาคม 2556.

7. วัชรพล วงศ์เลิศอารักษ์ และ บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2558. อิทธิพลของน้ำมันหล่อลื่นต่อประสิทธิภาพการบำบัดในระบบ SBR. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 14, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 27-29 พฤษภาคม 2558.
8. Wimonmas Boonyungyuen, Watcharapol Wonglertarak, and Boonchai Wichitsathian. (2014). effect of organic loading rate on the performance of a membrane bioreactor (MBR) treating textile wastewater. International Conference on Chemical, Environment & Biological Sciences (ICBE 2014), Sept. 17-18, 2014, Kuala Lumpur, Malaysia
9. Boonchai Wichitsathian, Chatpet Yossapol and Borano Te. Isotherm Study for the uptake of AS(V) from Aqueous Solution by Local Pottery Clay. (2015) 4th International Conference on Environmental Engineering, Science and Management, May 27-29, 2015, Chiang Mai, Thailand.
10. W. Wonglertarak, W. Boonyungyuen, B. Wichitsathian. (2017). Degradation of textile wastewater containing azo dye by Hybrid Membrane Bioreactor (HMBR). THE 9th EASTERN EUROPEAN YOUNG WATER PROFESSIONALS CONFERENCE. MAY 24-27, 2017, BUDAPEST, HUNGARY.
11. W. Boonyungyuen, W. Wonglertarak, B. Wichitsathian. (2017). Degradation of refractory textile wastewater containing azo dye by Fenton's Reagent. THE 9th EASTERN EUROPEAN YOUNG WATER PROFESSIONALS CONFERENCE. MAY 24-27, 2017, BUDAPEST, HUNGARY.

ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารในประเทศและต่างประเทศ

1. Racho, P., Jindal, R. and Wichitsathian, B. 2012. Posttreatment UASB Effluents of Tapioca Starch Wastewater Using Downflow Hanging Sponge System. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, January: 9-17.
2. Boonyungyuen, W., Wichitsathian, B. and Racho, P. 2013. AZO DYB REDUCTION AND BIODEGRADABILITY MECHAMSMS DURING AN ANAEROBIC PROCESS. Suranaree J. Sci. Technol, 20: 1 -9.
3. Wonglertarak, W. and Wichitsathian, B. 2014. Alkaline Pretreatment of Waste Activated Sludge in Anaerobic Digestion. Journal of Clean Energy Technologies, 2 : 118-121.
4. Boonyungyuen, W. and Wichitsathian, B. 2014. Effect of Activated Carbon Addition with Enhance Performance on a Membrane Bioreactor (MBR). Journal of Clean Energy Technologies, 2: 122-125.
5. Borano Te, Boonchai Wichitsathian and Chatpet Yossapol. (2015). Modification of Natural Common Clay as Low Cost Adsorbents for Arsenate Adsorption. International Journal of Environmental Science and Development, 6: 799-804.

6. Borano Te, Boonchai Wichitsathian and Chatpet Yossapol. (2016). UPTAKE BEHAVIOR OF ARSENATE FROM AQUEOUS SOLUTION USING FERRIC-COATED MESOPOROUS CERAMIC ADSORBENT. *Jurnal teknologi*, 78:5-3: 65-71.
7. Borano Te, Boonchai Wichitsathian, Chatpet Yossapol and Watcharapol Wonglertarak. (2018). Development of low-cost iron mixed porous pellet adsorbent by mixture design approach and its application for arsenate and arsenite adsorption from water. *Adsorption Science & Technology* 36(1-2), pp. 372-392.
8. Borano Te, Boonchai Wichitsathian and Chatpet Yossapol. (2017). ADSORPTIVE BEHAVIOR OF LOW-COST MODIFIED NATURAL CLAY ADSORBENTS FOR ARSENATE REMOVAL FROM WATER. *International Journal of GEOMATE*, Vol.12, Issue 33, pp.1-7.
9. Borano Te, Boonchai Wichitsathian, Chatpet Yossapol and Watcharapol Wonglertarak. (2018). Coexisting arsenate and arsenite adsorption from water using porous pellet adsorbent: Optimization by response surface methodology. *Global J. Environ. Sci. Manage.*,4(2): 141-152.
10. Borano Te, Boonchai Wichitsathian, Chatpet Yossapol and Watcharapol Wonglertarak. (2018). Enhancing the quality of arsenic-contaminated groundwater using a bio-sand filter with iron-mixed clay pellets. *Water Practice and Technology*, 13(2): 285-294.
11. Yimrattanabavorn, J., Kaenjun, T., Wonglertarak, W., Wichitsathian, B. (2018). Combination coagulation and adsorption processes for treating textile wastewater in household industry. *International Journal of GEOMATE*, 15(51), pp. 16-21.
12. Borano Te, Boonchai Wichitsathian, Chatpet Yossapol and Watcharapol Wonglertarak. (2018). Investigation of Arsenic Removal from Water by Iron-Mixed Mesoporous Pellet in a Continuous Fixed-Bed Column. *Water, Air, and Soil Pollution*. 229(9), 296.
Online: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3935-6>.