

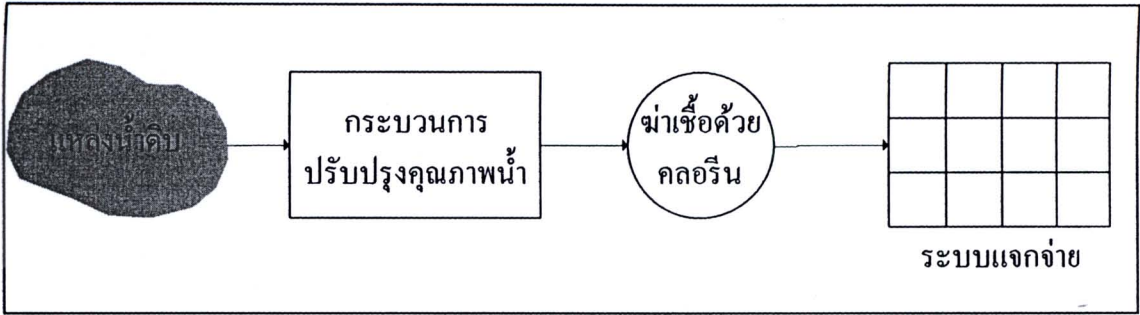
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

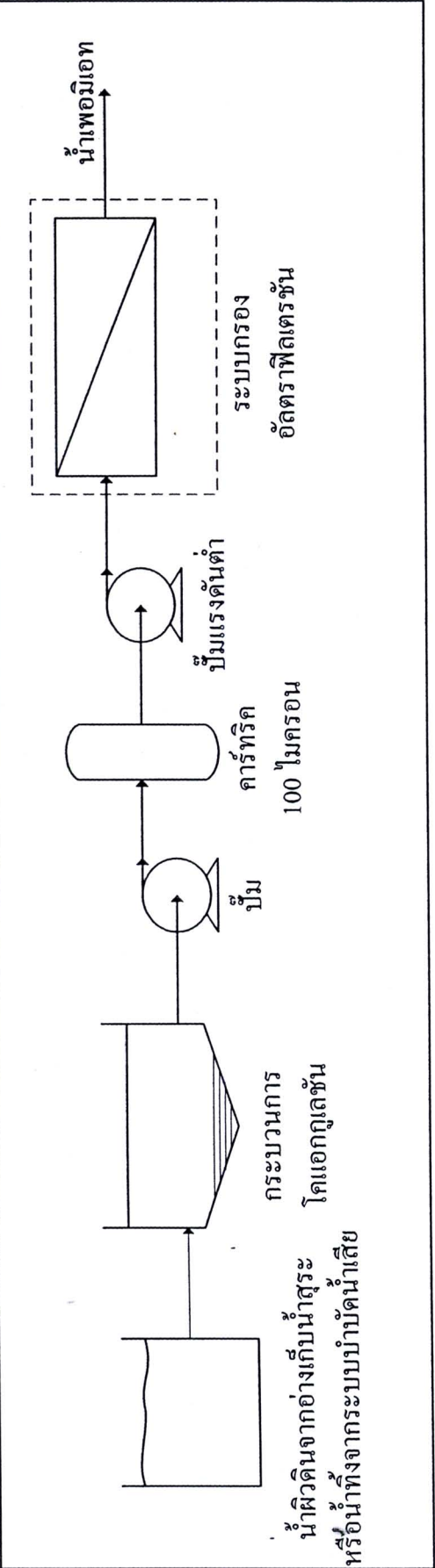
เนื่องจากความต้องการการใช้น้ำในปัจจุบันมีมากขึ้น ทั้งน้ำประปา น้ำใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมและน้ำเพื่อการเกษตรกรรม พบว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่นั้นเริ่มมีน้อยลง การนำน้ำที่กลับมาใช้ใหม่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นน้ำทิ้งที่จะนำมาใช้ซ้ำควรทำการบำบัดเพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่ต้องการใช้น้ำ เช่น น้ำที่ต้องการใช้ในการเกษตรกรรม น้ำที่ต้องการใช้ในการกิจกรรมการผลิตของกระบวนการอุตสาหกรรม น้ำที่ต้องการใช้ในการประปา น้ำที่ต้องการใช้ในการล้างถนนและรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น ในน้ำผิวดินทั่วไปจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของดิน ตะกอน และแร่ธาตุ ในขณะที่สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไวรัส จุลินทรีย์ แบคทีเรียและโปรโตซัว เป็นต้น (Crittenden et al., 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งน้ำผิวดินจะมีสารอินทรีย์ธรรมชาติปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำอาจไม่เพียงพอต่อการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำให้หมดไป เมื่อเดิมคลอรีนลงไปในพื้นที่ยังคงมีสารอินทรีย์ธรรมชาติอยู่จะสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection By Products: DBPs) อันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับคลอรีนอิสระ เกิดเป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนิยมใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธี Conventional Process ซึ่งจะประกอบไปด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกกูเลชัน การตกตะกอน การกรองทราย และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกไปได้หมด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติต่อไป

การกรองผ่านเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การบำบัดน้ำเสีย และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Aim and Vigneswaran, 1998) อีกทั้งยังพบว่าเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำด้วยกลไกการคัดขนาด เพื่อลดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งจะก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Scott, K., 1990; Uyak et al., 2008)



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

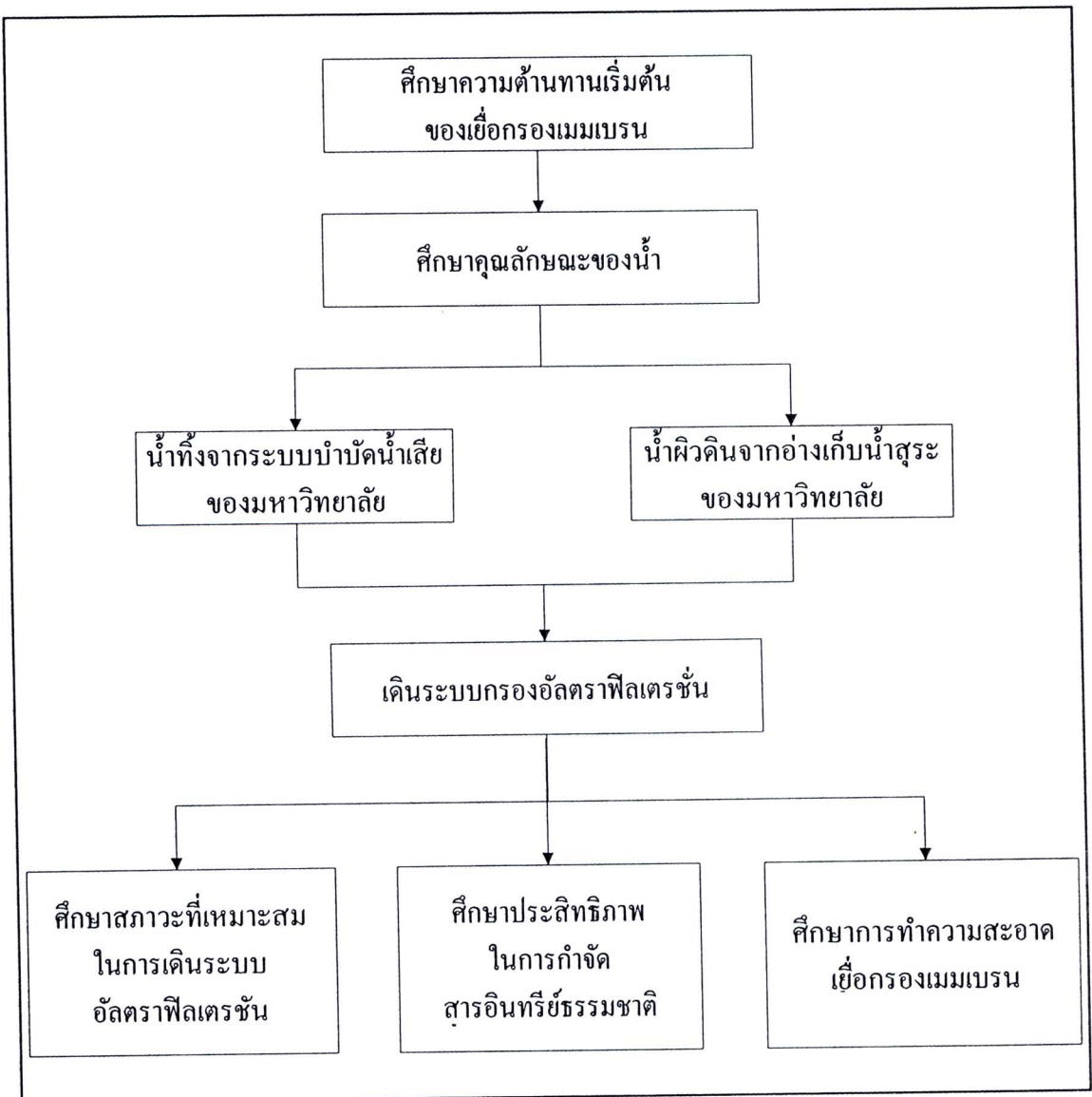
การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนคือโพอลิอูมิโนมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 10 g/L โดยนำมาทดสอบหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม จะนำมาอ้างอิงสำหรับการตกตะกอนสารแขวนลอยและคอลลอยด์ของน้ำดิบจากทั้ง 2 แหล่ง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี ระยะเวลาในการกวน และระยะเวลาในการตกกอน ดังนี้ คือ (1) เลือกใช้โพอลิอูมิโนมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 10 g/L (2) ระยะเวลาในการกวนเร็ว 1 นาที และ (3) ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 45 นาที (Hanson et al., 1990) น้ำส่วนใสจะถูกนำมาผ่านชุดกรองคาร์ทริก 100 ไมครอน เพื่อคัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันเป็นหลัก โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระหรือน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

3.2 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้จะทำการทดสอบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา โดยทดสอบด้วยกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองในระดับต้นแบบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัด และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการดำเนินการ (Operating Condition) ตลอดจนสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดเยื่อกรองโดยมีแผนผังการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การดำเนินงานวิจัย

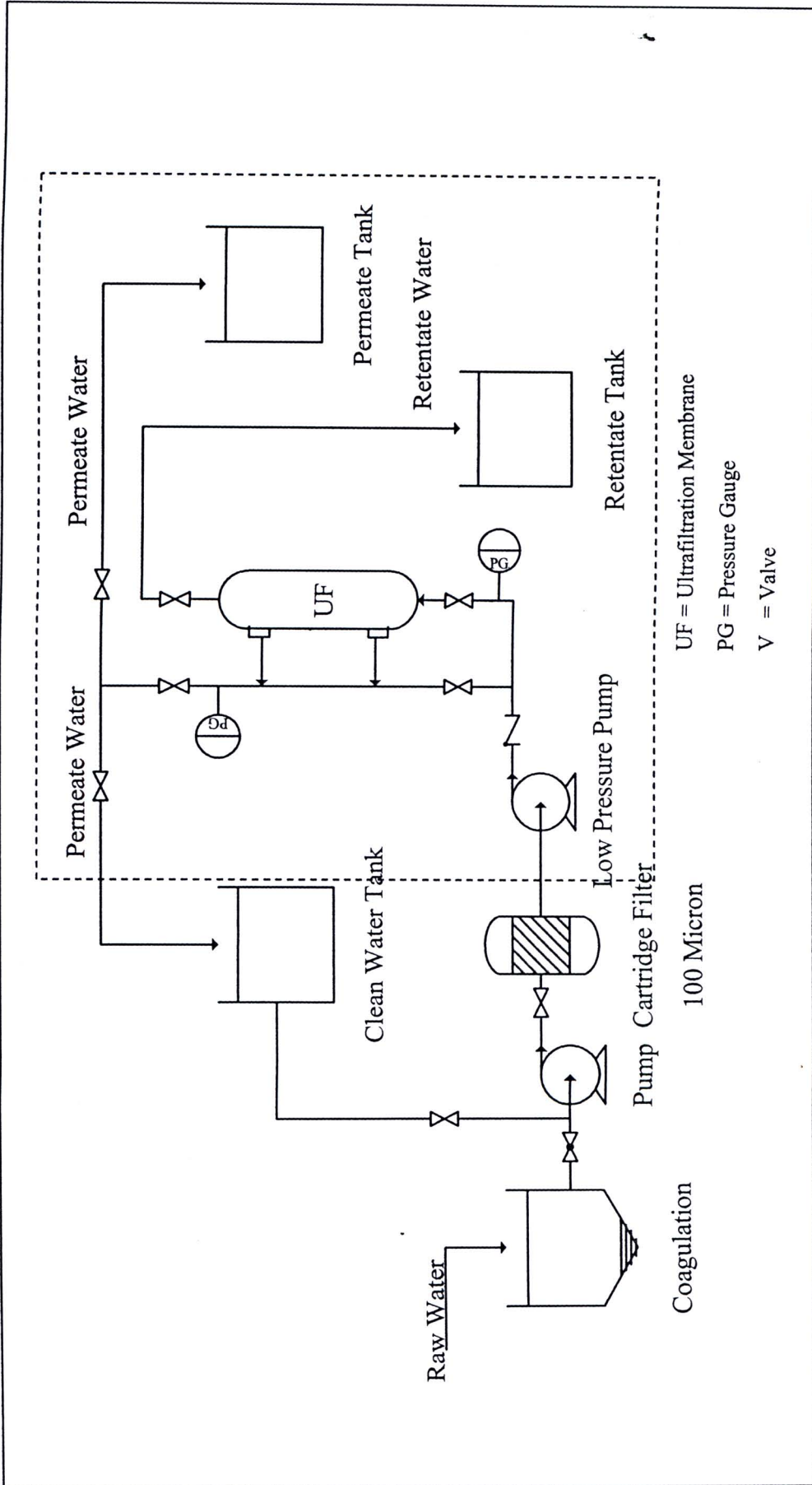
3.3 เยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการวิจัย

เยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน มีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm มีความสามารถในการกำจัดสารแขวนลอย คอลลอยด์ แบคทีเรีย และไวรัส เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้จัดเตรียมชุดการทดลองสำหรับการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4

โมดูลที่เลือกใช้ในการศึกษาเป็นโมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane) โดยมีรายละเอียดของเยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

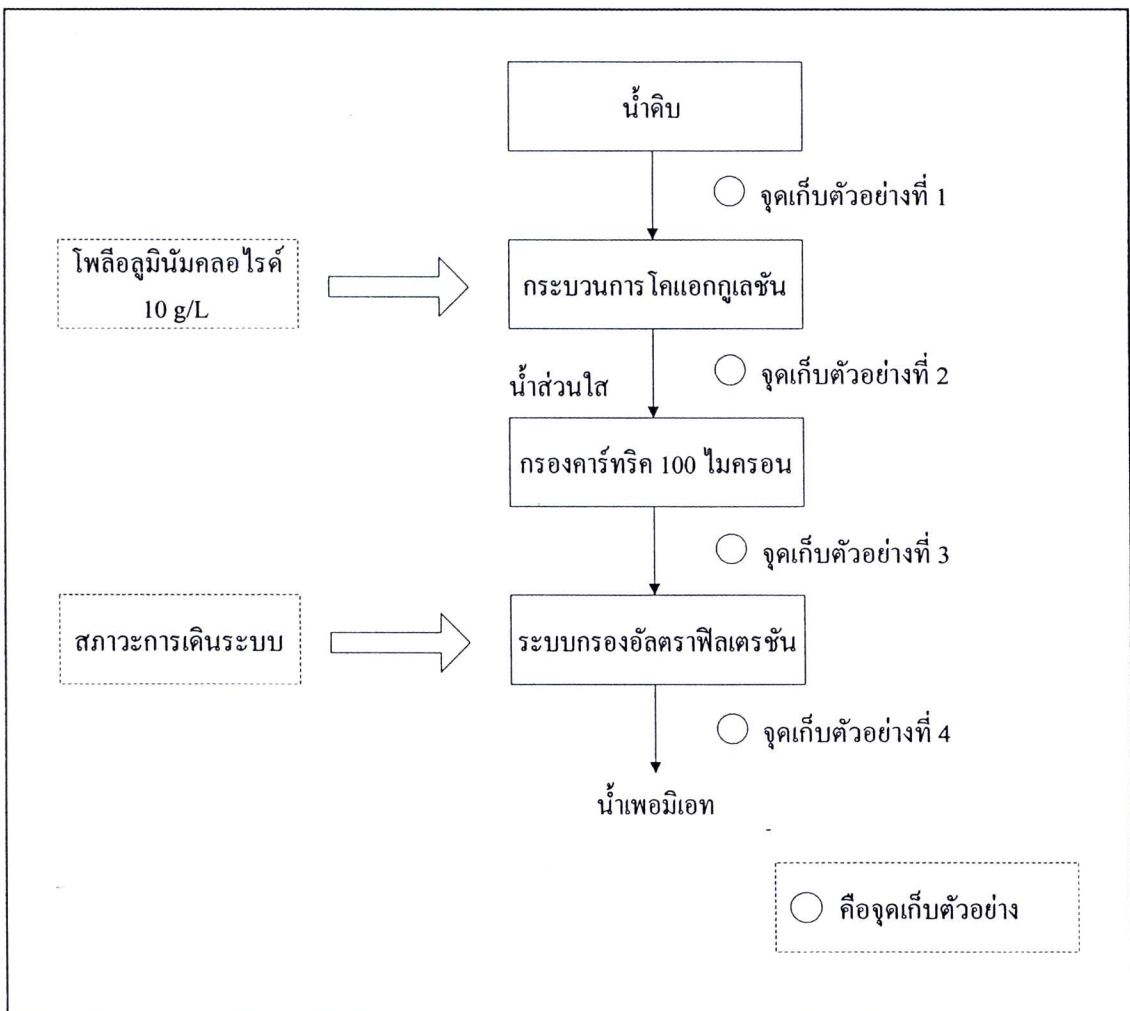
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของอัลตราฟิลเตรชัน	คุณสมบัติ
โมเดล	VF (SP) -0912
ความเร็วสารป้อนเข้า (ลิตรต่อนาที)	6-12
ลักษณะการกรอง	จากข้างในออกข้างนอก
ชนิดของเมมเบรน	โพลีซัลโฟน
พื้นที่เมมเบรน (ตารางเมตร)	6
ช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่กักกันสาร (MWCO) (คาร์ตัน)	20,000
ช่วงค่าพีเอชที่ใช้งาน	2-13
ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (องศาเซลเซียส)	3-60
ช่วงแรงดันในการเดินระบบ	2 -3 บาร์ (30-45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
แรงดันล้างย้อน	2 บาร์ (30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
รูปแบบการเดินระบบ	แบบไหลขวาง (Cross Flow)



รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

เนื่องจากในการเดินระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน เป็นการเดินระบบอย่างต่อเนื่องโดยจะทำการควบคุมเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมีเอตอร์เทนเททในการเดินระบบกรองของน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อเปลี่ยนสภาวะการเดินระบบจะทำการตรวจสอบความดันและความต้านทานที่เกิดขึ้นของเยื่อกรองเมมเบรนก่อนเดินระบบที่สภาวะอื่น ๆ ต่อไป โดยการเดินระบบได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำและบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาที่กำหนดมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าอุณหภูมิ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าสี ค่าความขุ่น ค่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 จะเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลทุกวัน สำหรับจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 จะเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 30 นาที



รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

3.4 แนวทางในการดำเนินงาน

สำหรับการเดินระบบในครั้งนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่งจะทำการทดสอบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและระยะที่สองจะทำการทดสอบน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน

3.4.1 ศึกษาความต้านทานเริ่มต้นของเยื่อกรองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

เป็นการตรวจสอบความต้านทานของระบบกรองก่อนเริ่มเดินระบบด้วยการกรองน้ำสะอาดผ่านระบบเยื่อกรองเมมเบรน โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอฟลักซ์กับแรงดันเพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มต้นไว้เปรียบเทียบกับความต้านทานของเยื่อกรองที่ผ่านการใช้งาน ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\mu R} \quad (3.1)$$

เมื่อ J	คือ ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเมมเบรน ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{sec}$)
ΔP	คือ ผลต่างของความดันที่ใช้กับสารละลาย (Pascal)
$\Delta \pi$	คือ ผลต่างความดันออสโมติกของสารละลาย (Pascal)
μ	คือ ความหนืดของสารละลาย (Pascal/sec)
R	คือ ความต้านทานต่อการไหลผ่าน (Per meter)

สำหรับน้ำบริสุทธิ์ และสารละลายของสาร โมเลกุลใหญ่ค่า $\Delta \pi$ มีค่าเท่ากับศูนย์ และน้อยกว่า ΔP มาก ๆ ดังนั้นสามารถตัด $\Delta \pi$ ทิ้งได้ (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543)

$$R_t = R_{mo} + R_d \quad (3.2)$$

เมื่อ R_{mo}	คือ ความต้านทานเริ่มต้น (Per Meter)
R_d	คือ ความต้านเนื่องจากจากชั้นเจล (Per Meter)

สำหรับการกรองน้ำสะอาด $R_d = 0$ ดังนั้น

$$\Delta P = J \times \mu \times R_t \quad (3.3)$$

3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบของเยื่อกรองเมมเบรน

ในการเดินระบบกรองจะแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์และสัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเททที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1. ผลของการแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์

ในการศึกษาได้เลือกใช้สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเททเท่ากับ 25:75 มาทำการเดินระบบ (ปกฉัตร ชูติวิสุทธิ, 2552) โดยแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์ เท่ากับ 60 80 และ 100 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การแปรผันเพอมีเอทฟลักซ์

ระยะการทำงาน	สารป้อนเข้า	ระยะเวลาเดินระบบ (ชั่วโมง)	สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท	เพอมีเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)		
หนึ่ง	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	120	25:75	60	80	100
สอง	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	30				

2. ผลของการแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท

จากหัวข้อที่ผ่านมาเมื่อทราบถึงเพอมีเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดจะนำเพอมีเอทฟลักซ์ที่เหมาะสมมาแปรผันสัดส่วนน้ำเพอมีเอทอรีเทนเทท เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การแปรผันสัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท

ระยะการทำงาน	สารป้อนเข้า	ระยะเวลาเดินระบบ (ชั่วโมง)	สัดส่วนเพอมีเอทอรีเทนเทท
หนึ่ง	น้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ	30	25:75
			50:50
สอง	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย	30	75:25



3.4.3 ศึกษาการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

การเกิดการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรน เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ค่าฟลักซ์และผลต่างความดัน (Transmembrane Pressure) เพิ่มขึ้น โดยการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเป็นสิ่งสำคัญและอาจต้องใช้เวลาในการล้างทำความสะอาดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารที่ทำให้เกิดการอุดตัน ถ้าสารอุดตันมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จะต้องทำการล้างเยื่อกรองเมมเบรนด้วยกรดและด่าง สำหรับวิธีทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนในการศึกษาครั้งนี้ คือ (1) วิธีทางกายภาพด้วยการล้างย้อน (Back Wash) เพื่อกำจัดชั้นเค้กที่สะสมบนผิวเยื่อกรองทำได้โดยการป้อนน้ำสะอาดเข้าทางด้านตรงข้ามกับน้ำเพอิมเฟตซึ่งจะทำให้น้ำสามารถดันสิ่งอุดตันออกมาจากเยื่อกรองได้ และ (2) การล้างด้วยสารเคมีเมื่อเกิดการอุดตันภายในเยื่อกรองจะเลือกใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาดให้เหมาะสมกับชนิดของสารอุดตันและชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน โดยวัสดุของเยื่อกรองเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำจากโพลีซัลโฟน การเลือกสารเคมีในการล้างทำความสะอาดนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเยื่อกรองและสารที่ทำให้เกิดการอุดตัน ดังแสดงในตารางที่ 3.4 โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ NaOH 0.02 N และ NaOCl 100 mg/L (Liang et al., 2008) สำหรับการล้างทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรน

ตารางที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด

สารปนเปื้อน	สารเคมีที่ใช้	ความเข้มข้นของสารเคมี
Bacteria Organic	NaOCl	Up to 5,000 ppm
Organic Colloidal Silica	NaOH	Up to 4%
Inorganic Colloid	Nitric Acid	5 to 10%
	Hydrochloric Acid	5 to 10%
	Oxalic Avid	Up to 2%
	Citric Acid	Up to 10%
	EDTA	Up to 0.4%
Sterilization	NaOCl	10 to 100 ppm
	Hydrogen Peroxide	Up to 1%

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองอัตราฟิเตรชันด้วยวิธีตาม Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2005) โดยพารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/ อุปกรณ์	สิ่งรบกวนการ วิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ ในการเก็บ ตัวอย่าง
พีเอช	pH Meter	-	Standard Method 4500-H ⁺ B	ทุก ๆ 30 นาที
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	Conductivity/TDS Meter	- สารอินทรีย์ ละลายน้ำ - อีออนต่าง ๆ	-	ทุก ๆ 30 นาที
สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Conductivity/TDS Meter	- อนุภาคคอลลอยด์ ในน้ำ	Standard Method 2510B	ทุก ๆ 30 นาที
สี	Spectrophotometer	- สารแขวนลอย	Standard Method 2120 B.	ทุก ๆ 30 นาที
ความขุ่น	Turbidity Meter	- ตัวอย่างน้ำที่มีสี	Standard Method 2130 B	ทุก ๆ 30 นาที
UV ₂₅₄	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	- สารอินทรีย์ ธรรมชาติ	Standard Method 5910 B	ทุก ๆ 30 นาที
DOC	Ultra violet-Visible Spectrophotometer	- สารอินทรีย์ ละลายน้ำ	Standard Method 5310 C	ทุก ๆ 30 นาที