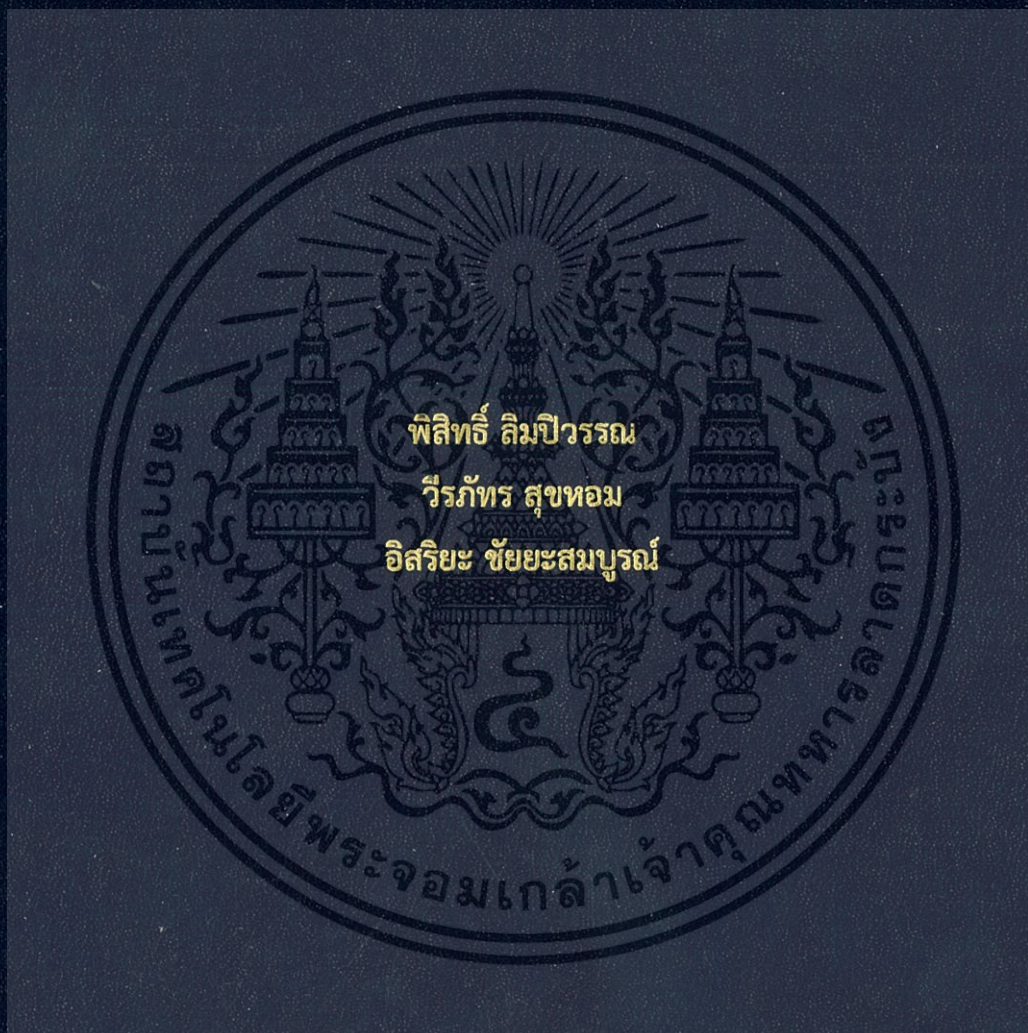


การพัฒนาและปรับปรุงน้ำหมุนเวียนสำหรับกรองเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผงโดย
ใช้ไมโครฟิลเตอร์

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLED WATER FOR ASH
FILTRATION FROM PULVERIZED BIOMASS COMBUSTION BY USING
MICROFILTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การพัฒนาและปรับปรุงน้ำหมุนเวียนสำหรับกรองเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผงโดย
ใช้ไมโครฟิลเตอร์

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLED WATER FOR ASH
FILTRATION FROM PULVERIZED BIOMASS COMBUSTION BY USING
MICROFILTER.



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLED WATER FOR ASH
FILTRATION FROM PULVERIZED BIOMASS COMBUSTION BY USING
MICROFILTER.



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาและปรับปรุงน้ำหมุนเวียนสำหรับกรองเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผงโดยใช้ไมโครฟิลเตอร์

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLED WATER FOR ASH FILTRATION FROM PULVERIZED BIOMASS COMBUSTION BY USING MICROFILTER.

ผู้จัดทำ

1. พิสิทธิ์ ลิมปิวรรณ รหัสประจำตัว 58010904
2. วีรภัทร สุขหอม รหัสประจำตัว 58011180
3. อิศริยะ ชัยยะสมบูรณ์ รหัสประจำตัว 58011460

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จรรวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ชื่องานวิจัย	การพัฒนาและปรับปรุงน้ำหมุนเวียนสำหรับกรองเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผงโดยใช้ไมโครฟิลเตอร์		
ผู้วิจัย	พิสิทธิ์ ลิ้มปิรพรรณ	58010904	
	วีรภัทร สุขหอม	58011180	
	อิสริยะ ชัยยะสมบุรณ์	58011460	
	นักศึกษาระดับปริญญาตรี (คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล)		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จรรวัตร เจริญสุข		
ปีการศึกษา	2561		

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการได้มีการพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบผง โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ แต่ในปัจจุบันเตาเผาฯ นี้ ยังไม่มีการนำความร้อนไปใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิและดักจับขี้เถ้าก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ซึ่งกลุ่มของผู้วิจัยจะศึกษาและพัฒนาในส่วนของการดักจับขี้เถ้า

การดักจับขี้เถ้าของไอเสียจะใช้เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก น้ำชะล้างที่ใช้ในการดักจับขี้เถ้า นั้นจะต้องใช้น้ำที่สะอาด ปัญหาที่พบคือน้ำชะล้างที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จากบ่อตกตะกอนยังไม่สะอาดพอที่จะนำมาใช้งาน จึงจำเป็นต้องเติมน้ำประปาเข้ามาในระบบเพิ่มเติม

ทางผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำโดยการเพิ่มระบบบำบัดน้ำที่ใช้ไมโครฟิลเตอร์กรองขี้เถ้าขนาด 1 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำประปาที่เติมเข้ามาในระบบ และยังช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการอุดตันที่หัวฉีดในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

ในส่วนของระบบบำบัดน้ำที่ทางผู้วิจัยศึกษาและออกแบบนั้น โดยปกติในระบบหมุนเวียนน้ำแบบเดิมมีเพียงถังตกตะกอนที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำ ซึ่งใช้เวลานานในการตกตะกอน ทางผู้วิจัยจึงทำการเพิ่มระบบกรองน้ำเข้าไปเป็นกรณีศึกษา โดยมีการเก็บค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันน้ำ รวมไปถึงคำนวณค่าความต้านทานรวมของระบบกรองน้ำ และอีกหนึ่งปัจจัยคือระยะเวลาในการทำงานหนึ่งครั้งก่อนจะต้องถอดฟิลเตอร์มาทำความสะอาด สำหรับนำกลับมาใช้ซ้ำ สุดท้ายนี้ เราได้เลือกใช้ไส้กรองหยาบเพื่อดักจับขี้เถ้าขนาดใหญ่ก่อนที่จะใช้ไมโครฟิลเตอร์กรองขี้เถ้าที่เหลือ เพื่อช่วยเพิ่มระยะเวลาการทำงานของระบบกรองน้ำ และลดการอุดตันของไมโครฟิลเตอร์ได้อีกด้วย

ผลที่ได้คือ ระบบกรองน้ำด้วยไมโครฟิลเตอร์สามารถใช้งานกับเครื่องเผาชีวมวลผงได้ และมีระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 2 ปี กับอีก 10 เดือน

Abstract

Thesis title: DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLED WATER FOR ASH FILTRATION FROM PULVERIZED BIOMASS COMBUSTION BY USING MICROFILTER

Researcher: Mr. Pisit Limpiwan 58010904

Mr. Weerapat Sookhom 58011180

Mr. Isariya Chaiyasomboon 58011460

Ungraduated in Bachelors of Mechanical engineering.

Thesis advisor: Assoc. Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk

Year 2018

At present, there is a study pulverized biomass burner. However, the heat received from combustion chamber is not used. Exhaust treatment is very important. Researchers will study and improve the part of scrubbing liquid in water circulation system.

Trapping ash from exhaust air by using wet scrubber, scrubbing liquid has to be recycled and cleaned. The problems are scrubbing liquid in circulation water system is not clean enough for capturing ash in wet scrubber. Therefore, the system needs to add pure water continuously. It causes high consumption of water in system.

Researchers had improved water treatment system by installing microfiltration system to remove ash from size 1 micron to 100 microns. Installing microfiltration system will reduce the amount of tap water added to the system and also reduces the clogging at the nozzle in wet scrubber.

In part of water treatment, Researchers improve and develop filtration system by using filter pore size of 100 microns to trap large ash before using the microfilter with pore size of 1 micron to remove the remaining ash from water circulation system. Collecting data of the relationship between the flow rate and the pressure drop will be shown. Including calculating the total resistance of the filtration system and working duration.

As a result, this microfiltration system can be used with biomass burners scrubber. The payback period is about 2 year and 10 months.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษาจากท่าน รศ. ดร. จารุวัตร เจริญสุข ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการนี้ ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง รวมไปถึงอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนศาสตร์วิชาต่าง ๆ ให้นักศึกษามีความรู้และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำนักนโยบายและแผนพลังงานแห่งชาติ กระทรวงพลังงานภายใต้โครงการพัฒนาอะไหล่สมรรถนะสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่นเพื่อการใช้งานในระยะยาวสำหรับภาคอุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทย วอเตอร์ สโตร์ ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์ ชิ้นส่วน ไมโครฟิลเตอร์ และได้ให้ความรู้เกี่ยวกับไมโครฟิลเตอร์แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ บริษัท ชัยถาวรรุ่งเรืองกิจ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ประปา ท่อน้ำ ชิ้นส่วนข้อต่อต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

นอกจากนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รุ่นที่ผู้ร่วมในโครงการวิจัยเตาเชื้อเพลิงพลังงานชีวมวลแบบผงของท่านอาจารย์จารุวัตร เจริญสุข ที่ได้ให้ความช่วยเหลือการทำโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยช่วยเหลือกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและบุคคลในครอบครัวทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้อบรมสั่งสอนและสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษา อีกทั้งยังเป็นกำลังใจที่ดีในการแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ และขอขอบพระคุณผู้ให้การสนับสนุนทุกท่านที่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิสิทธิ์ ลิ้มปิวรรณ

วีรภัทร สุขหอม

อิสริยะ ชัยยะสมบุรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	5
1.9 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....	5
บทที่ 2 งานวิจัย.....	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
3.1 เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber).....	8
3.1.1 ชนิดของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก.....	9
3.2 ฟิลเตอร์ (filter).....	11
3.2.1 กระบวนการกรองความละเอียดสูง.....	11
3.2.2 วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวกรอง.....	12

3.2.2.1	วัสดุที่ได้จากธรรมชาติ.....	12
3.2.2.2	วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น.....	13
3.2.3	รูปแบบการกรอง.....	13
3.3	อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	14
3.3.1	Rotameter.....	14
3.3.2	Ultrasonic Flow Meters.....	15
3.4	อุปกรณ์วัดความดัน.....	16
3.4.2	เกจวัดความดัน (Pressure Gauge).....	16
3.4.2.1	เกจวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon Gauge).....	16
3.4.2.2	เกจความดันแบบเบลโลว์ (Bellow).....	17
3.4.3	สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch).....	17
3.4.3.1	Piston.....	17
3.4.3.2	Diaphragm.....	18
3.5	ประเภทและหลักการทํางานของปั๊ม.....	18
3.5.1	ปั๊มแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump).....	18
3.5.2	ปั๊มแบบปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive Displacement Pump).....	18
3.5.3	ประเภทของปั๊มตามลักษณะการทํางาน.....	20
3.6	ขนาดของซี้เก้้า.....	22
3.6.1	วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis).....	22
3.6.2	วิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis).....	23
3.7	การเกิดตะกััน.....	23
3.8	ทฤษฎีสำหรับการกรอง.....	24
3.8.1	สมการพื้นฐานสำหรับการกรอง.....	24
3.8.2	กฎของ Darcy.....	25

บทที่ 4 การออกแบบชุดทดลอง พัฒนาระบบ และการคำนวณ	26
4.1 ปัญหาของระบบและการออกแบบพัฒนาระบบ	26
4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์.....	27
4.2.1 การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดของ Rotameter	27
4.2.2 การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดของ Ultrasonic Flow Meter	29
4.3 การออกแบบชุดทดลองเพื่อศึกษาการกรองน้ำเบื้องต้น	30
4.3.1 วัดอัตราการไหลที่เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกต้องการ	30
4.3.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองระบบกรองน้ำ.....	30
4.3.3 การเลือกปั๊มที่ใช้กับชุดทดลองระบบกรองน้ำ.....	31
4.4 การออกแบบระบบกรองน้ำ.....	37
4.4.1 ส่วนประกอบของระบบกรองน้ำ.....	37
4.4.2 การเลือก Pre-filter.....	37
4.4.3 การเลือกปั๊มที่ใช้กับระบบกรองน้ำ.....	39
4.5 การลงทุนในการสร้างระบบกรองน้ำ.....	45
4.6 การคำนวณหาจำนวนฟิลเตอร์ที่เพียงพอต่อระบบ.....	46
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	53
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	53
5.1.1 ระบบกรองน้ำก่อนพัฒนาและปรับปรุง.....	53
5.1.1.1 ไมโครฟิลเตอร์.....	53
5.1.1.2 ปั๊มน้ำ.....	54
5.1.1.3 ชุดทดลอง	54
5.1.2 ระบบกรองน้ำหลังพัฒนาและปรับปรุง.....	55
5.1.2.1 พีรีฟิลเตอร์.....	55
5.1.2.2 ไมโครฟิลเตอร์.....	56

5.1.2.3	ปั้มน้ำ.....	56
5.1.2.4	ระบบกรองน้ำหลังพัฒนาและปรับปรุง.....	57
5.1.3	อุปกรณ์เครื่องมือวัด.....	57
5.1.3.1	เครื่องมือวัดความดัน.....	57
5.1.3.2	เครื่องมือวัดอัตราการไหล.....	58
5.2	การทดลอง.....	58
5.2.1	วิธีการทดลองเก็บผลความดันลดของน้ำหมุนเวียนที่ผ่านตัวกรอง.....	58
5.2.2	วิธีการทดลองเก็บผลอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนที่ผ่านตัวกรอง.....	59
บทที่ 6	ผลการทดลอง.....	60
6.1	ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรอง.....	60
6.1.1	ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรองก่อนปรับปรุงระบบ.....	60
6.1.1.1	ค่าความดันลดของ ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน.....	60
6.1.1.2	ค่าความดันลดของ ไมโครฟิลเตอร์ 5 ไมครอน.....	61
6.1.1.3	ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน.....	61
6.1.1.4	กราฟความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1 ไมครอน ต่อเวลา.....	62
6.1.2	ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรองหลังปรับปรุงระบบ.....	62
6.1.2.1	ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด.....	63
6.1.2.2	ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด.....	64
6.1.2.3	กราฟความดันลดของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด.....	65
6.2	ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรอง.....	66
6.2.1	ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองก่อนปรับปรุงระบบ.....	66
6.2.1.1	ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน.....	66
6.2.1.2	ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 5 ไมครอน.....	67

6.2.1.3 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน.....	67
6.2.1.4 กราฟอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1 ไมครอน ต่อเวลา	68
6.2.2 ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองหลังปรับปรุงระบบ	68
6.2.2.1 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด.....	69
6.2.2.2 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกัน.....	69
6.2.2.3 กราฟอัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด	71
6.3 ค่าความต้านทานรวมของชุดกรองน้ำ	72
6.4 ผลการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนกรอง และหลังกรอง.....	73
6.4.1 ตัวอย่างของน้ำก่อนการกรอง.....	73
6.4.2 ตัวอย่างของน้ำหลังการกรอง.....	73
6.4.3 ตัวอย่างของน้ำทั้งก่อนกรองและหลังกรองเปรียบเทียบกัน	74
6.5 ตัวอย่างไส้กรองก่อนทำความสะอาด และหลังทำความสะอาด.....	75
6.5.1 ไส้กรองก่อนทำความสะอาด	75
6.5.2 ไส้กรองหลังทำความสะอาด.....	75
6.6 การคำนวณอื่นๆ.....	76
6.6.1 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ	76
6.6.2 การคำนวณค่าน้ำที่ประหยัดได้ในแต่ละครั้ง	76
6.6.3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน.....	78
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	80
7.1 บทสรุป	80
7.2 ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารอ้างอิง.....	82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของอนุภาคที่จับได้ และความดันการทำงาน ของแต่ละระดับการกรอง	12
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงประเภทและหลักการทำงานของปั๊ม.....	19
ตารางที่ 4.1 คำนวณอัตราการไหลจากเวลาที่วัดได้เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่อ่านจากโรตاميเตอร์	28
ตารางที่ 4.2 คำนวณอัตราการไหลจากเวลาที่วัดได้เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่อ่านจากอัลตราโซนิก.....	29
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams.....	32
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ [8]	34
ตารางที่ 4.5 การหาค่าผลรวมของสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์	35
ตารางที่ 4.6 Size distribution ของซีเมนต์ [9]	38
ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบกรองน้ำ.....	45
ตารางที่ 4.8 ตารางอัตราการไหลของไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน.....	46
ตารางที่ 4.9 ตารางอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่กรองได้ของไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน	48
ตารางที่ 4.10 ตารางอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่กรองได้ของชุดฟิลเตอร์.....	50
ตารางที่ 6.1 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10 ไมครอน.....	60
ตารางที่ 6.2 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 5 ไมครอน.....	61
ตารางที่ 6.3 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน.....	61
ตารางที่ 6.4 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด.....	63
ตารางที่ 6.5 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด	64
ตารางที่ 6.6 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10 ไมครอน.....	66
ตารางที่ 6.7 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 5 ไมครอน.....	67
ตารางที่ 6.8 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน.....	67
ตารางที่ 6.9 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด	69
ตารางที่ 6.10 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกัน.....	69
ตารางที่ 6.11 ค่าน้ำตามอัตราของการประปานครหลวงประเภทที่ 2.....	76
ตารางที่ 6.12 ค่าน้ำประปาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะ วิศวกรรมศาสตร์	77

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบผลิตพลังงานความร้อนจากชีวมวลผง.....	2
รูปที่ 1.2 เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก.....	2
รูปที่ 1.3 แผนผังการหมุนเวียนน้ำชะล้าง.....	2
รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก.....	8
รูปที่ 3.2 Spray Tower Scrubbers.....	9
รูปที่ 3.3 Packed Bed Scrubbers.....	9
รูปที่ 3.4 Tray or Plate Scrubbers.....	10
รูปที่ 3.5 Venturi Scrubbers.....	10
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการกรองแบบธรรมชาติ.....	12
รูปที่ 3.7 ไม้กรองแบบต่าง ๆ.....	13
รูปที่ 3.8 รูปแบบการกรอง (a) Cross flow, (b) Dead-end.....	14
รูปที่ 3.9 Rotameter.....	15
รูปที่ 3.10 Ultrasonic Flow Meters.....	15
รูปที่ 3.11 ความดัน.....	16
รูปที่ 3.12 กลไกของเกจวัดความดันแบบบูร์ดอง.....	16
รูปที่ 3.13 กลไกของเกจวัดความดันแบบเบลโลว์.....	17
รูปที่ 3.14 กลไกของสวิตช์ควบคุมความดันแบบกระบอกสูบ.....	17
รูปที่ 3.15 การทำงานของสวิตช์ควบคุมความดันแบบแผ่นยางไดอะแฟรม.....	18
รูปที่ 3.16 แสดงทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออกจากใบพัดของ Centrifugal pump.....	20
รูปที่ 3.17 แสดงภาพปั๊มโรตารีแบบเกียร์.....	21
รูปที่ 3.18 กลไกการทำงานของปั๊มแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบ.....	21
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการร่อน.....	22
รูปที่ 3.20 วิธีร่อนผ่านตะแกรง.....	22
รูปที่ 3.21 Hydrometer Analysis.....	23
รูปที่ 3.22 การปะปนของแคลเซียมคาร์บอเนตที่วัดได้ในของเหลว (เปียก) และการกระจายตัวแบบแห้ง.....	24
รูปที่ 4.1 แผนผังการไหลวนของน้ำหมุนเวียนก่อนติดตั้งระบบกรองน้ำ.....	26
รูปที่ 4.2 แผนผังการไหลวนของน้ำหมุนเวียนหลังติดตั้งชุดทดลอง.....	27

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Actually และ Theory ของ Rotameter.....	28
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Actually และ Theory ของ Ultrasonic flow meter	30
รูปที่ 4.5 ป้มน้ Mitsubishi WP-105Q5	31
รูปที่ 4.6 ชุดทดลองระบบกรองน้ำ.....	31
รูปที่ 4.7 ไมโครฟิลเตอร์ขนาดรู 10, 5, และ 1 ไมครอน	31
รูปที่ 4.8 แผนภาพวงจรระบบท่อแบบไอโซเมตริก	35
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของชุดทดลองระบบกรองน้ำ.....	36
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั้มน้ำและชุดทดลองระบบกรองน้ำ.....	37
รูปที่ 4.11 แผนภาพวงจรระบบท่อแบบไอโซเมตริก	39
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบกรองน้ำ	41
รูปที่ 4.13 รูปแสดงความดันตกคร่อมที่แนะนำสำหรับวัสดุโพลีโพลี.....	41
รูปที่ 4.14 ปั้มหอยโข่ง Mitsubishi รุ่น WCH-755S	42
รูปที่ 4.15 กราฟสมรรถนะของปั้มน้ Mitsubishi รุ่น WCH-755S.....	43
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั้มน้ำ Mitsubishi รุ่น WCH-755S และระบบกรองน้ำ	43
รูปที่ 4.17 กราฟสมรรถนะของปั้มน้ Grundfos รุ่น cme 5-3 a-r-a-e-avbe.....	44
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั้มน้ำ Grundfos รุ่น cme 5-3 a-r-a-e-avbe และระบบกรองน้ำ	44
รูปที่ 4.19 การหาพื้นที่ใต้กราฟแบบแบ่งช่วง	46
รูปที่ 4.20 ชุดทดลองต่อฟิลเตอร์ 100 ไมครอนอนุกรม กับไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน.....	49
รูปที่ 4.21 แผนภาพการติดตั้งแบบขนาน.....	51
รูปที่ 5.1 ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10, 5 และ 1 ไมครอน	53
รูปที่ 5.2 ปั้มน้ Mitsubishi WP-105Q5.....	54
รูปที่ 5.3 ชุดทดลองก่อนการปรับปรุงและพัฒนา.....	54
รูปที่ 5.4 ปรี่ฟิลเตอร์ ขนาดรู 100 ไมครอน	55
รูปที่ 5.5 ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน	56
รูปที่ 5.6 ปั้มน้ำ Grundfos CME5-3_A-R-A-E-AVB	56
รูปที่ 5.7 ระบบกรองน้ำหลังการปรับปรุงและพัฒนาแล้ว.....	57
รูปที่ 5.8 เกจวัดความดัน 4 kg/cm ²	57
รูปที่ 5.9 โรตานิเตอร์ Flowmeter Z-6016	58

รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและเวลาของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1.....	62
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและเวลาของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด และใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด.....	65
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลและเวลาของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1.....	68
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลและเวลาของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด และใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด.....	71
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานรวมต่อเวลาของชุดกรอง 1 line และ Parallel line	72
รูปที่ 6.6 น้ำที่มีอนุภาคซีเมนต์ และยังไม่ผ่านการกรอง	73
รูปที่ 6.7 น้ำที่ผ่านระบบกรองแล้ว.....	73
รูปที่ 6.8 น้ำที่กรองแล้วและยังไม่ผ่านการกรอง.....	74
รูปที่ 6.9 ใส่กรองหยาบและไมโครฟิลเตอร์ ก่อนทำความสะอาด	75
รูปที่ 6.10 ใส่กรองหยาบและไมโครฟิลเตอร์ หลังทำความสะอาด.....	75



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet scrubber) ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนของการศึกษา แผนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และ คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

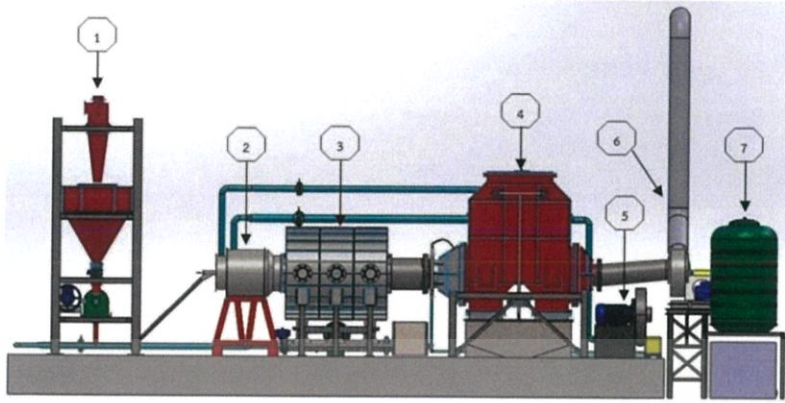
เนื่องจาก เครื่องผลิตพลังงานความร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมามากมาย อาทิเช่น ก๊าซไอเสีย และซีเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นต้น

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 1.1 ได้มีการศึกษาและพัฒนาเครื่องเผาชีวมวลแบบฝุ่น โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่พลังงาน 200-500 กิโลวัตต์ ซึ่งความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้นั้นจะถูกนำไปใช้ แต่เนื่องจากการศึกษานี้เป็นเพียงการหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ และไม่นำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ต่อ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดไอเสียและซีเถ้าจากการเผาไหม้ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยการทำงานของห้องปฏิบัติการจะแบ่งส่วนหลักเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนบดและลำเลียงเชื้อเพลิงดังหมายเลข 1 ในรูปที่ 1.1 ส่วนเผาไหม้ดังหมายเลข 2-3 ในรูปที่ 1.1 และส่วนบำบัดความร้อนและไอเสียดังหมายเลข 4-7 ในรูปที่ 1.1 ซึ่งแฉีกเกิดน้ำและมาน้ำในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและดักจับซีเถ้าดังรูปที่ 1.2 โดยในส่วนของแฉีกเกิดน้ำจะทำหน้าที่ ลดอุณหภูมิไอเสียเป็นส่วนใหญ่ และในส่วนเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกจะให้ไอเสียที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วไหลผ่านละอองน้ำขนาดกลางเพื่อชะล้างฝุ่นควันอีกที จึงทำให้น้ำชะล้างมีซีเถ้าลอยปะปนและมีอุณหภูมิสูง จึงต้องถูกนำไปทำให้เย็นตัวลงด้วยหอผึ่งเย็น และส่วนที่เหลือจะถูกนำไปบำบัด ดังรูปที่ 1.3 แสดงให้เห็นถึงแผนผังการหมุนเวียนน้ำชะล้าง ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาในส่วนนี้ ซึ่งมีหน้าที่กรองซีเถ้าที่อยู่ในน้ำหมุนเวียน เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ในการชะล้างไอเสียอีกครั้ง

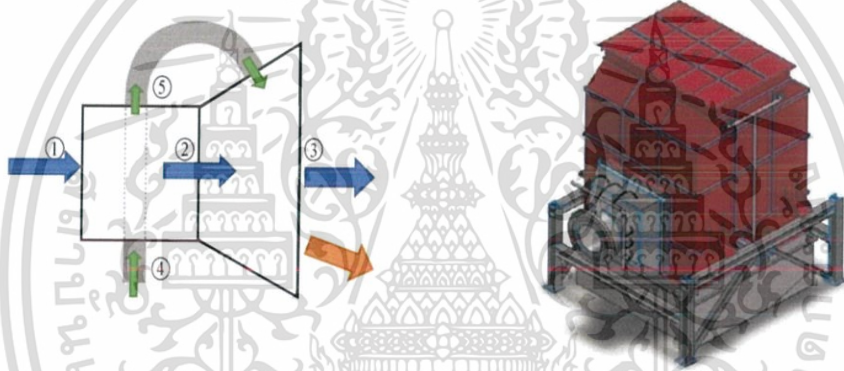
ปัจจุบันระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้อยู่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำด้วยการกรอง จึงทำให้น้ำหมุนเวียนมีความสกปรกและมีซีเถ้าปะปนเข้าไปในระบบ นอกจากนี้ต้องมีการเติมน้ำประปาเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จึงมีปัญหาเรื่องต้นทุนในการใช้น้ำประปาเข้ามาเติม

ทางผู้วิจัยจึงได้นำเอาระบบบำบัดน้ำด้วยการกรองโดยใช้ไมโครฟิลเตอร์ ปรับปรุงและพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำ โดยการใช้ไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 1 ไมครอน ในการกรองซีเถ้าออกจากรูน้ำ

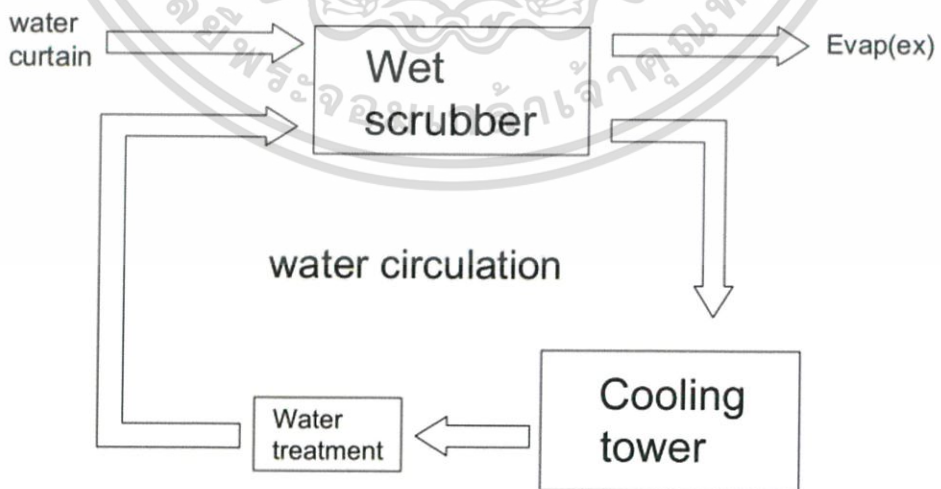
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ระบบผลิตพลังงานความร้อนจากชีวมวลผง



รูปที่ 1.2 เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก



รูปที่ 1.3 แผนผังการหมุนเวียนน้ำชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อกรองขี้เถ้าในน้ำหมุนเวียนให้สะอาดพอที่จะไม่เกิดการอุดตันที่หัวฉีดในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก
2. เพื่อลดปริมาณน้ำประปาที่เติมเข้ามาในระบบ
3. เพื่อลดต้นทุนค่าน้ำประปาที่เติมเข้ามาในระบบ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อพิสูจน์สมมติฐานต่อไปนี้

1. การเพิ่มระบบกรองน้ำเข้ามาทำให้น้ำหมุนเวียนสะอาดกว่าน้ำจากถังตกตะกอน
2. ระบบกรองน้ำสามารถกรองขี้เถ้าในน้ำหมุนเวียนได้เร็วกว่าถังตกตะกอนและเหมาะสมสำหรับระบบที่ทำงานต่อเนื่อง
3. ระบบกรองน้ำสามารถช่วยลดการเติมน้ำประปาเข้าสู่ระบบ
4. ระบบกรองน้ำสามารถช่วยลดต้นทุนค่าน้ำประปาที่เติมเข้าสู่ระบบ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1. การออกแบบ และการสร้างระบบกรองน้ำชะล้างโดยใช้ไมโครฟิลเตอร์นั้นจะอ้างอิงทฤษฎี รวมไปถึงสูตรการคำนวณจาก พื้นฐานกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) ควบคู่ไปกับ กระบวนการแยกของเทคโนโลยีชีวภาพ
2. การทดสอบระบบกรองน้ำ คำนึงถึง ความดันลด อัตราการไหลเชิงปริมาตร และอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. การทดลองมีอัตราพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาตั้งแต่ 200-500 กิโลวัตต์ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้คือแก๊สธรรมชาติชนิดเหลว (LPG) และชีวมวลผงจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา
2. การวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในส่วนของเคมีและชีวภาพ
3. ศึกษาอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนที่ใช้ในการดักจับขี้เถ้าของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกที่เพียงพอต่อการทำงานของเครื่องเผาเชื้อเพลิง ที่ 200-500 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ออกแบบและสร้างเครื่องกรองน้ำไมโครฟิลเตอร์สำหรับการเผาไหม้ที่ 200-500 กิโลวัตต์
5. ตัวอย่างของผลน้ำที่ได้ ไม่ได้มีการวัดอย่างละเอียด โดยดูเพียงกายภาพว่ามีความโปร่งใส

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทำการสำรวจถึงปัญหาของระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก
2. กำหนดหัวข้อวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา
3. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบระบบกรองน้ำ
4. ติดตั้งชุดทดลองระบบกรองน้ำเพื่อเก็บค่าผลการทดลองเบื้องต้น
5. ศึกษาการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่าง ๆ
6. ทำการเก็บค่าผลการทดลองก่อนปรับปรุงและพัฒนาระบบ
7. ทำการทดสอบความดันลด ของน้ำที่ผ่านตัวกรองที่ 10, 5 และ 1 ไมครอน
8. นำค่าความดันลดและค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล (total head) มาคำนวณเพื่อเลือกปั๊มน้ำที่เหมาะสม
9. คำนวณจำนวนฟิลเตอร์ที่เพียงพอต่อระบบ
10. ทำการติดตั้งระบบกรองน้ำ
11. ทำการเก็บค่าผลการทดลองหลังปรับปรุงและพัฒนาระบบ
12. วิเคราะห์ผลการทดลอง พร้อมทั้งสรุปผลการปรับปรุงระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก โดยการกรองน้ำหมุนเวียน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงวิธีการในการใช้เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้อง
2. ได้ทราบถึงปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกรองน้ำ
3. ได้รับประสบการณ์ในสภาวะการทำงานจริง
4. ได้ทราบวิธีการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำสำหรับเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก
5. สามารถช่วยลดต้นทุนค่าน้ำประปาที่เติมเข้าสู่ระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือการควบคุมของการศึกษา
2. งบประมาณที่ได้รับ
3. พื้นที่ในการปฏิบัติการ

1.9 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1. ชี้เถ้า (Ash) คือ ผุ่นหรือเศษเขม่าจากการเผาไหม้ที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ซึ่งเมื่อลอยออกไปสู่อากาศจะก่อให้เกิดมลพิษ
2. เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดไอเสียก่อนปล่อยสู่อากาศภายนอก โดยการใช้ละอองน้ำเป็นตัวดักจับชี้เถ้า และยังสามารถลดอุณหภูมิของไอเสียด้วย
3. น้ำชะล้าง (Scrubbing liquid) คือ น้ำที่ใช้ฉีดพ่นในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก โดยให้สัมผัสโดยตรงกับชี้เถ้าลอยในไอเสีย ซึ่งน้ำจะดักจับชี้เถ้าและผุ่นควันก่อนปล่อยออกสู่อากาศ นอกจากนี้ยังช่วยลดอุณหภูมิของไอเสียด้วย
4. ม่านน้ำ (Water curtain) คือ ละอองน้ำที่ถูกฉีดเพื่อช่วยลดอุณหภูมิและดักจับชี้เถ้าของไอเสียในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก
5. เค้ก (Cake) คือ ชี้เถ้าที่ไหลมาติดกับพื้นผิวฟิลเตอร์จนเกิดการสะสมเป็นชั้น
6. ไมครอน (micron) เป็นคำบอกขนาดที่ย่อมาจาก หน่วย ไมโครเมตร (μm)
7. ถังตกตะกอน (clarifier tank) คือ ถังสำหรับกักเก็บน้ำที่ผสมกับชี้เถ้าเพื่อให้ชี้เถ้าตกตะกอนลงสู่ก้นถัง

บทที่ 2 งานวิจัย

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โสภา กลิ่นจันทร์ [1]

ได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีทั่วไปสำหรับการกรอง (General theory for filtration) ที่อธิบายเกี่ยวกับสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก อธิบายด้วยสมการของกลศาสตร์ของไหลหรือจากกฎของ Darcy ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการกรอง ขั้นที่สองประยุกต์สมการเหล่านี้สำหรับเค้กที่อัดตัวไม่ได้ (incompressible cakes) ขั้นตอนที่สาม เป็นการประยุกต์สำหรับเค้กที่อัดตัวได้ (compressible cakes)

2) นาย วัลลภ ภูผา, นาย ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว, นาย อรุณ ชลิ่งสุทธิ [2]

ได้ศึกษาเรื่อง ระบบบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีการใช้ Filter ต่างๆ และ Membrane ในการช่วยกรองน้ำเสียที่ผ่านการใช้งานจากครัวเรือนโดยใช้วิธี Reverse Osmosis และ ผลที่ได้คือน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว สามารถบริโภคได้ โดยพิจารณาจากเกณฑ์คุณภาพน้ำตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 และ 135

3) นาง อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์ [3]

ได้ศึกษาเรื่อง ความคุ้มค่าของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยการกรองตรง การดูดติดผิว และการใช้แผ่นเยื่อกรอง ซึ่งผลการทดลองการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองมีประสิทธิภาพในการกรองความขุ่นและของแข็งละลายน้ำอยู่ในระดับที่ดีกว่าการกรองตรงและมีอัตราการไหลที่ดีกว่าการกรองแบบดูดติดผิว

4) ผศ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร, น.ส.สุกุลยา ทับอุไร [4]

ได้ศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ในส่วนของการออกแบบระบบได้มีการใช้การกรองอนุภาคขนาดใหญ่ก่อนที่จะเข้าไปกรองในแผ่นเยื่อกรองหลัก มีส่วนในการช่วยลดความขุ่นและสีของน้ำ รวมไปถึงลดการอุดตันของแผ่นเยื่อกรอง

5) นางสาวมีนารัตน์ รักซ้อน, นางสาวรัตนากร ยวงสวัสดิ์ [5]

ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสารเครื่องกรองแบบใช้ความดันชนิดแผ่นและกรอบเพื่อไว้ใช้ในการทดลองของทางภาควิชาวิศวกรรมเคมี รวมถึงศึกษาชนิดของสารแขวนลอยและภาวะที่จะใช้ในการทดลอง สำหรับปัจจัยที่ศึกษาคือ ความดันปฏิบัติการ ชนิดและความเข้มข้นของสารแขวนลอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

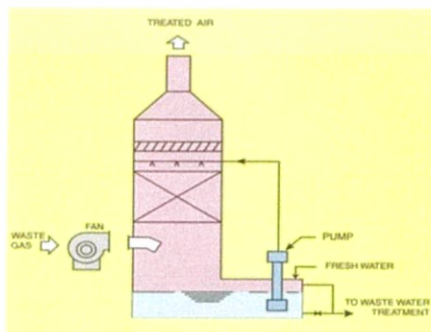
3.1 เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber)

เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก คือ อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อกำจัดแก๊สและไอ (Gas and Vapor) รวมถึงอนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยใช้ของเหลวคือ ฝู้เป็นตัวดักจับด้วยการพ่นฉีดน้ำให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กให้กระจายไปปะทะกับกระแสไอเสีย จึงทำให้หยดฝู้ที่จับกับอนุภาคจะถูกแยกโดยแรงโน้มถ่วงหรือแรงเหวี่ยง การดักจับฝู้ด้วยเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก มี 3 ขั้นตอน คือ

1. อนุภาคสัมผัสและดักจับด้วยหยดของเหลว
2. แยกหยดของเหลวออกจากกระแสไอเสีย
3. บำบัดของเหลว (ฝู้เสีย) ก่อนระบายทิ้ง

เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. พัดลมดูดอากาศ (Exhaust Fan) ทำหน้าที่ดูดอากาศเสียเข้าสู่สกรับเบอร์
2. ปั๊ม (Circulation Pump) ทำหน้าที่ดูดฝู้จากถังหมุนเวียนฝู้ไปสู่หัวฉีด (Nozzle) และฉีดเป็นละอองฝอยไปทั่วทั้งสกรับเบอร์
3. ตัวสกรับเบอร์ (Scrubber Main Body) ประกอบไปด้วย
 - 3.1 ตัวเพิ่มพื้นที่การกระจายตัวของแก๊ส (Scrubber Tower Packing) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันระหว่างแก๊สกับของเหลว
 - 3.2 หัวฉีดสเปรย์ (Spray Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดฝู้ให้ทั่วอย่างสม่ำเสมอภายในสกรับเบอร์
 - 3.3 ตัวดักจับละอองน้ำ (Mist Separator) ทำหน้าที่ดักจับละอองฝู้ที่เกิดจากการฉีดสเปรย์ในสกรับเบอร์ไม่ให้หลุดออกไปภายนอกเพราะจะนำพาแก๊สเสียปนออกไปด้วย
 - 3.4 ถังหมุนเวียนฝู้ (Circulation Tank) ทำหน้าที่เก็บฝู้ไว้สำหรับหมุนเวียนใช้ในระบบ

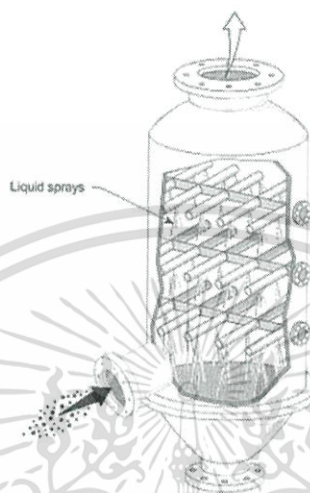


รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

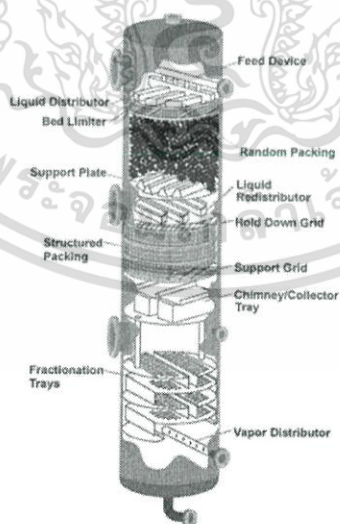
3.1.1 ชนิดของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

1. สครับเบอร์แบบสเปรย์ (Spray Tower Scrubbers) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ปกติก๊าซไหลสวนทิศกับของเหลว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำเหมาะกับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และสามารถกำจัดก๊าซมลพิษได้อีกด้วย โดยส่วนบนของหอนี้มีแผ่นดักละอองน้ำ (Demister)



รูปที่ 3.2 Spray Tower Scrubbers

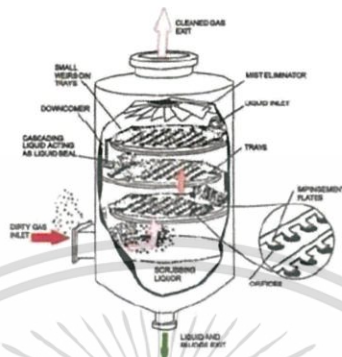
2. สครับเบอร์แบบหอบรรจุหรือหอบแพค (Packed Bed Scrubbers) ปกตินิยมใช้กำจัดก๊าซและไอแต่สามารถจับฝุ่นได้ด้วย เป็นหอนที่บรรจุชั้นวัสดุไว้เต็มแล้วฉีดของเหลวให้ไหลผ่านวัสดุลงด้านล่าง กระแสก๊าซจะไหลสวนทิศกับของเหลว อนุภาคหรือก๊าซจะชนและแพร่ผ่านฟิล์มของเหลวที่ เคลือบวัสดุอยู่แล้วไหลสู่ด้านล่าง



รูปที่ 3.3 Packed Bed Scrubbers

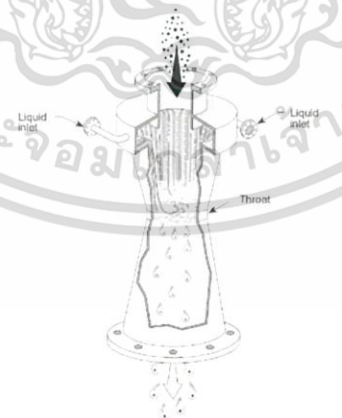
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สกรับเบอร์แบบถาดหรือเพลท (Tray or Plate Scrubbers) เป็นหอที่มีเพลทที่ถูกเจาะรูวางอยู่ภายใน ก๊าซจะไหลสวนทางแล้วผ่านรูของเพลท โดยจะให้ของเหลวไหลผ่านเพลทลงมาด้านล่าง มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคปานกลาง เหมาะสมกับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน



รูปที่ 3.4 Tray or Plate Scrubbers

4. สกรับเบอร์แบบเวนทูรี (Venturi Scrubbers) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้มากที่สุดชนิดหนึ่งเนื่องจากประสิทธิภาพสูงมากในการรับอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะเล็กกว่า 1 ไมครอน และสามารถรับก๊าซได้ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ส่วนคอคอด (Converging Section) ส่วนคอ (Throat) และส่วนขยาย (Diverging Section) การทำงานของเวนทูรีสกรับเบอร์ คือ ก๊าซที่ไหลเข้าจะมีของเหลวพุ่งตรงส่วนคอคอด หรือส่วนคอ ซึ่งเป็นช่วงที่ก๊าซมีความเร็วสูง 60-244 m/s ก๊าซที่ไหลด้วยความเร็วสูงจะทำให้ของเหลวแตกออกเป็นละอองฝอย และมีความเร็วสูง ทำให้ประสิทธิภาพของ สกรับเบอร์แบบเวนทูรีมีค่าสูง แต่จะมีค่าความดันสูญเสียสูงตามด้วย



รูปที่ 3.5 Venturi Scrubbers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ฟิลเตอร์ (filter)

ฟิลเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่มีรูพรุนเพื่อให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูนั้นสามารถผ่านเข้าไปได้ ขณะที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูนั้นติดอยู่ ถูกใช้เพื่อขจัดสิ่งสกปรกหรืออนุภาคที่เป็นของแข็งออกจากของเหลวหรือก๊าซที่ไหลผ่าน

3.2.1 กระบวนการกรองความละเอียดสูง

1. ไมโครฟิเตรชัน (Microfiltration) คือ เครื่องกรองอนุภาคระดับไมครอนในน้ำดิบ โดยอาศัยหลักการกรองที่อนุภาคซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของไส้กรองจะไม่สามารถลอดผ่านไปได้ มีขนาดรูเปิด (pore size) ระหว่าง 0.1 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร (μm .) สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องกรอง หรือติดตั้งกับเส้นท่อได้ อนุภาคขนาดไมครอนที่สามารถผ่านไส้กรองนั้น ได้แก่ โมเลกุลน้ำ ไอออนประจุเดี่ยว สารอินทรีย์ละลายน้ำ คอลลอยด์ และไวรัส และอนุภาคที่ลอดผ่านไม่ได้ ได้แก่ อนุภาคขนาดใหญ่ ฝุ่นละออง ตะกอนในน้ำ สาหร่าย และจุลินทรีย์ขนาดใหญ่
2. อัลตราฟิเตรชัน (Ultrafiltration) คือ การกรองโดยใช้เยื่อบาง (membrane filtration) และใช้แรงดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านเยื่อบาง ที่มีขนาดของรูเปิด (pore size) ระหว่าง 1 นาโนเมตร (nm) ถึง 100 นาโนเมตร ใช้สำหรับกรองอนุภาคที่มี เช่น โปรตีน (protein) เอนไซม์ (enzyme) สตาร์ช (starch) เซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ออกจากน้ำและสารโมเลกุลเล็กอื่นๆ
3. นาโนฟิเตรชัน (Nanofiltration) คือ การกรองด้วยเยื่อกรอง (membrane filtration) ที่มีขนาดรูเปิด 1 นาโนเมตร (nm.) เพื่อเอาสารเกลือแร่ (inorganics) ที่ละลายออกจากน้ำ NF สามารถกรองสารอนินทรีย์ ซึ่งนำเอาความกระด้างออกไป การกรองผ่าน NF จะไม่มีการล้างกลับทำความสะอาด แต่จะต้องใช้สารเคมีเข้าไปล้างทำความสะอาดแทน น้ำที่จะผ่านเข้ามากรองใน NF จะต้องเป็นน้ำที่ใสสะอาดปราศจากสารแขวนลอย มิฉะนั้นจะเกิดการอุดตันในเมมเบรนอย่างถาวร
4. ออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) คือ การกรองด้วยเยื่อกรอง (membrane filtration) ที่มีขนาดรูเปิด 0.1 นาโนเมตร (nm.) โดยการให้ความดันที่สูงกว่าความดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่จากจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไปยังสารละลายที่เจือจางกว่า ซึ่งเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับของกระบวนการออสโมซิส (osmosis) ตามธรรมชาติ ซึ่งโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อจากความเข้มข้นน้อยกว่าไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของอนุภาคที่จับได้ และความดันการทำงาน ของแต่ละระดับการกรอง

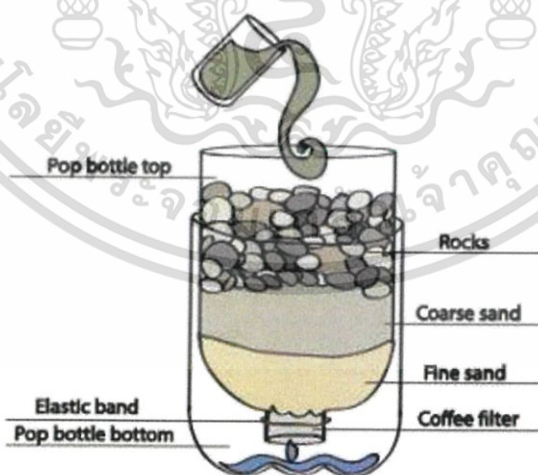
ระดับการกรอง	ขนาดของอนุภาคที่จับได้ (μm)	ความดันการทำงาน (bar)
ไมโครฟิลเตรชัน	0.1 to 10	0.1 to 2
อัลตราฟิลเตรชัน	0.003 to 0.1	0 to 5
นาโนฟิลเตรชัน	0.001	5 to 20
รีเวิร์สออสโมซิส	0.0001	10 to 100

3.2.2 วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวกรอง

วัสดุที่ใช้ในการกรองมีทั้งวัสดุที่ได้จากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งวัสดุแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ความดันที่ทนได้ อุณหภูมิที่ทนได้

3.2.2.1 วัสดุที่ได้จากธรรมชาติ

1. กรวด และทราย เป็นสารกรองตะกอน ใช้สำหรับกรองความขุ่นในน้ำ
2. ถ่าน เป็นสารกรองที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษหรือสารตกค้าง ช่วยกำจัดสีและกลิ่น



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการกรองแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น

1. ใยกรองเซรามิก ทำหน้าที่ในการกักเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ขนาดเล็กได้อย่างดี
2. ตะแกรงโลหะ เช่น นิเกิล ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม มีข้อดีในการต้านทานการกัดกร่อนและทนอุณหภูมิสูงได้
3. สักหลาดและผ้าฝ้าย ใช้ในการกรอง อนุภาคที่มีลักษณะเป็นเจล เช่น สี หรือสารละลายที่มีความเข้มข้น
4. โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ใช้ในการกรองตะกอน สารแขวนลอยในน้ำ ที่มีขนาดระดับไมโครเมตรได้
5. พอลิเมอร์เมมเบรน (Polymer membrane) มักใช้ในกระบวนการกรองอนุภาคที่มีความละเอียดสูง เช่น อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) ซึ่งเป็นการทำให้ใส โดยการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 μm .

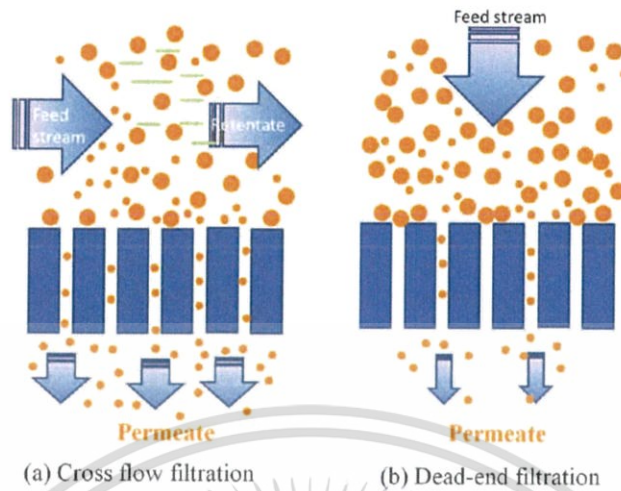


รูปที่ 3.7 ใยกรองแบบต่าง ๆ

3.2.3 รูปแบบการกรอง

1. การกรองแบบปิดตาย (Dead-end filtration) คือ เมื่อมีการกรองแบบปิดตาย น้ำทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวกรองจะถูกกีดผ่านตัวกรอง ของแข็งและส่วนประกอบบางส่วนจะติดอยู่บนผิวตัวกรองในขณะที่น้ำไหลผ่าน ขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุนของตัวกรอง ดังนั้นน้ำจะมีความต้านทานต่อการผ่านตัวกรองมากขึ้น เมื่อแรงดันป้อนน้ำอยู่ตลอดเวลาจะส่งผลให้อัตราการไหลลดลง หลังจากช่วงเวลาหนึ่ง อัตราการไหลลดลงจนไม่เพียงพอต่อการทำงาน ตัวกรองจะต้องถูกทำความสะอาด
2. การกรองแบบไหลขวาง (Crossflow filtration) คือ เมื่อมีการกรองแบบไหลขวาง น้ำที่ไหลผ่านส่วนหนึ่ง จะซึมผ่านตัวกรองออกมาเป็นน้ำที่ผ่านการกรอง แต่ น้ำส่วนที่ไม่ได้ซึมออกมาจะนำไปทิ้ง หรือสามารถวนกลับมาผ่านตัวกรองใหม่ น้ำที่ซึมออกมาขึ้นอยู่กับขนาดรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



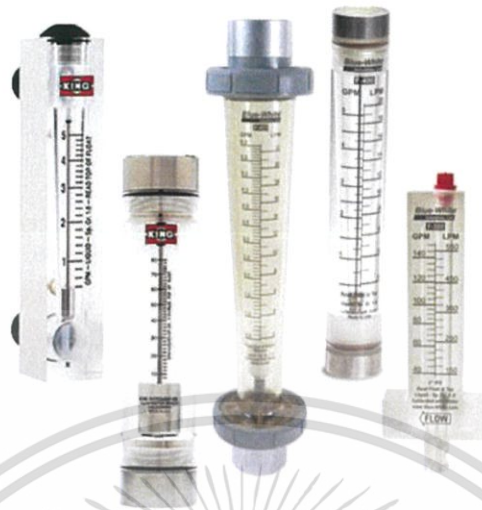
รูปที่ 3.8 รูปแบบการกรอง (a) Cross flow, (b) Dead-end

3.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) คือ เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลที่ผ่านภาชนะ เช่น ท่อ หรือ ราง ที่สามารถหาค่าพื้นที่หน้าตัด ปริมาตร และ เทียบกับเวลาที่ของไหลนั้นไหลผ่านมาได้ เป็น volume flow rate หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s) หรือ mass flow rate หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที (kg/s) ขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์

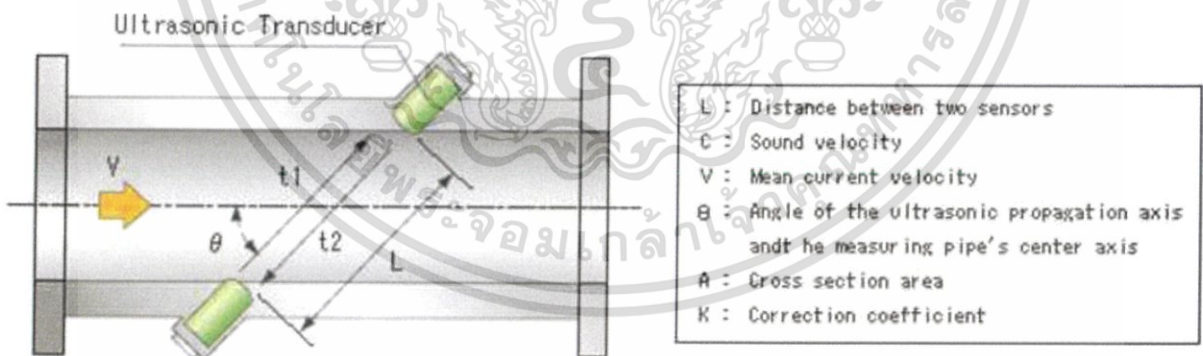
3.3.1 Rotameter คือ Variable area flow meter ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลที่ใช้ลักษณะของการวัดอัตราการไหลของปริมาตร (volumetric flow rate) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถรักษาค่าแรงดันตกคร่อมในตัวเครื่องมือวัดที่คงที่ ลดการสูญเสียแรงดันในระบบ และยังมี ความเที่ยงตรงสูงในกรณีที่วัดค่า Flow Rate ต่ำ ๆ โดยตัว โรตاميเตอร์ Rotameter จะอาศัยการอ่านค่าการไหลผ่านสเกลบนตัวท่อใส่ ซึ่งมีลักษณะเรียว (Tapper Pipe) โดยจะมีของไหล ไหลเข้าจากด้านล่างของ โรตاميเตอร์ และไหลออกที่ด้านบนของโรตاميเตอร์ ในขณะที่ของไหลไหลผ่านโรตاميเตอร์นั้น ความเร็วของของไหล Velocity Head จะทำให้ลูกลอย ลอยขึ้นและอยู่กับที่เมื่อเกิด ความสมดุลระหว่างน้ำหนักของลูกลอยกับความเร็วยังของไหล ซึ่งเราสามารถอ่านค่าการไหลขณะจุดที่ลูกลอยหยุดอยู่ได้ ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Rotameter จะเหมาะสำหรับการใช้งานวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0.0002 – 4000 l/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Rotameter

3.3.2 Ultrasonic Flow Meters คือ เครื่องมือวัดอัตราการไหลที่อาศัยหลักการวัดความเร็วในการเดินทางของคลื่นผ่านการไหลของของไหล และมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 ส่วน ที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ชนิดคือ Doppler method, Time of flight method และ Frequency difference method เหมาะสำหรับวัดของไหลทั้ง Liquid และ Gases



$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta}$$

$$t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta}$$

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right)$$

Flow-rate

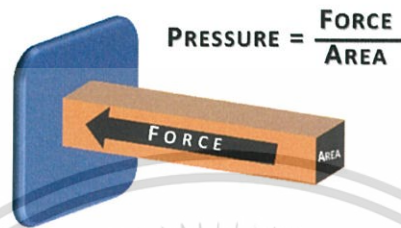
$$Q = A \cdot K \cdot V$$

รูปที่ 3.10 Ultrasonic Flow Meters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์วัดความดัน

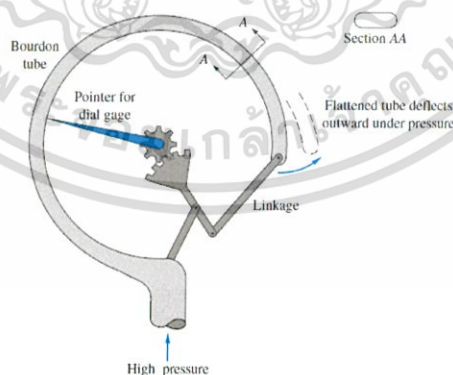
3.4.1 ความดัน (Pressure) คือแรงตั้งฉากที่เป็นแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในหน่วย SI ความดันมีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร เรียกว่า Pa (pascal) โดย $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ ความดันในหน่วย BG หรือ EE กำหนดเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi, lb/in²) หรือปอนด์ต่อตารางฟุต (psf, lb/ft²)



รูปที่ 3.11 ความดัน

3.4.2 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) สามารถวัดความดันได้ทั้งความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ และสุญญากาศ โดยจะแสดงผลเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม ข้อดีคือ มีราคาถูก ติดตั้งง่าย แต่ข้อเสียคือ อ่านค่าได้อย่างเดียว ไม่ละเอียด และไม่สามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้ เกจวัดความดันจะอาศัยหลักการยืดตัว/โก่งตัวของวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่นหรือเรียกว่า “เครื่องมือวัดความดันแบบอิลาสติก” ทำงานโดยอาศัยการแปลงความดันที่อุปกรณ์ได้รับให้อยู่ในรูปการเคลื่อนที่

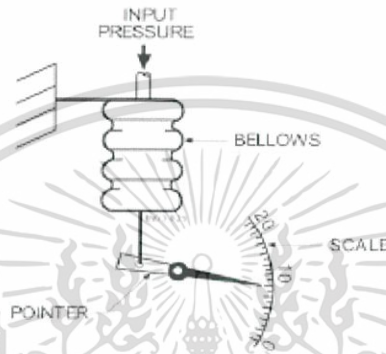
3.4.2.1 เกจวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon Gauge) คือเกจวัดความดันที่มีลักษณะเป็นขดทองแดงกลวง มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรี ซึ่งเมื่อมีความดันเข้าไปภายในท่อขดบูร์ดอง จะเกิดการยืดตัวออกเป็นวงกลม จึงทำให้ตั้งแขนที่ต่อกับเข็มชี้หมุนเลื่อนแสดงเป็นความดันที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.12 กลไกของเกจวัดความดันแบบบูร์ดอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

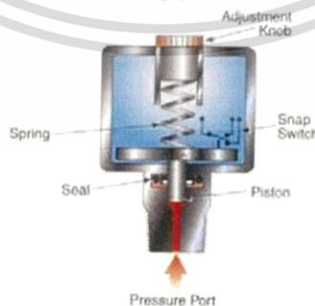
3.4.2.2 เกจความดันแบบเบลโลว์ (Bellow) คือเกจวัดความดันที่มีลักษณะคล้ายลูกฟูก ภายในกลวงสามารถยืดหยุ่นได้ ปลายด้านหนึ่งปิดยึดติดกับเข็มชี้วัดระยะ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเปิด เพื่อเป็นช่องทางเข้าของความดันที่ต้องการวัด ภายในติดตั้งสปริงหรือตัวหยุดการเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการรับค่าความดันเกินพิกัด เมื่อได้รับความดันจากภายนอกทำให้ความดันภายในสูง ส่งผลให้เกิดการยืดตัวออก



รูปที่ 3.13 กลไกของเกจวัดความดันแบบเบลโลว์

3.4.3 สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch) คือสวิตช์ที่ใช้ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าเมื่อความดันถึงจุดที่เรากำหนดไว้ ส่วนใหญ่ใช้งานควบคุมแรงดันทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น การตัดต่อการทำงานของปั้มน้ำ Pressure switch sensor ประเภทนี้ไม่ต้องอาศัยแรงดันไฟเลี้ยงเนื่องจากใช้ระบบกลไกในการทำงานโดยจะมีสัญญาณ Output เป็น contact on/off ใช้เพื่อตัดต่อระบบเพียงเท่านั้น

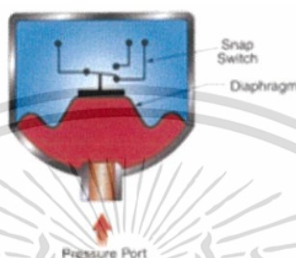
3.4.3.1 Piston ทำงานโดยใช้ระบบกลไกขนาดเล็กด้านในซึ่งอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับกลไกสวิตช์สามารถปรับตั้งสปริงเลือกช่วงในการทำงานได้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันสูงๆ เช่น วัดแรงดันของระบบไฮดรอลิกในระบบเครื่องกดอัดโลหะ



รูปที่ 3.14 กลไกของสวิตช์ควบคุมความดันแบบกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 Diaphragm ส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นยางไดอะแฟรมทำจากวัสดุ NBR เมื่อมีแรงดันมากระทำกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งอีกด้านจะต่อกับกลไกสวิตซ์จะทำงานในแรงดันที่เราตั้งไว้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันไม่สูงมาก เช่นแรงดันลมในระบบนิวเมตริก



รูปที่ 3.15 การทำงานของสวิตซ์ควบคุมความดันแบบแผ่นยางไดอะแฟรม

3.5 ประเภทและหลักการทำงานของปั๊ม

ปั๊ม (Pump) มีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งถูกนำมาใช้งานในหลายๆ ด้าน ส่วนขนาดก็มีตั้งแต่ร้อยกว่าวัตต์จนถึง 6,000 kW ประเภทของปั๊มที่มีการนำมาใช้งานจริงนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

3.5.1 ปั๊มแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

เป็นปั๊มประเภทที่สามารถผลิตเฮดน้ำ โดยการเพิ่มความเร็วของของน้ำซึ่งได้จากการหมุนของใบพัดไปตามตัวเรือนของปั๊ม อัตราการไหลของน้ำจะแปรผันตามความดันด้านขาออก (Discharge) เช่น End suction pump, In-line pump, Double suction pump, Vertical multistage pump, Horizontal multistage pump, Submersible pumps, Self-priming pumps, Axial-flow pumps, และ Regenerative pumps

3.5.2 ปั๊มแบบปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive Displacement Pump)

เป็นปั๊มประเภทที่ให้น้ำเข้าไปแทนที่อยู่ในปริมาตรในเรือนปั๊มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะสามารถให้อัตราการไหลของน้ำที่คงที่ ถึงแม้ว่าความดันด้านขาออก (Discharge) จะมีการแปรผัน เช่น Reciprocating pumps, Power pumps, Steam pumps, และ Rotary pumps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงประเภทและหลักการทำงานของปั๊ม

ประเภทของปั๊ม		จำนวนชั้นและรูปแบบการดูด	ความร้อนจำเพาะ	หลักการทำงาน	
centrifugal pump	turbine* pump	1 ชั้น (stage) แบบดูดเข้าข้างเดียว แบบดูดเข้าสองข้าง	100-250	น้ำจะไหลเข้ามาที่ซี่ว ใบพัดในทิศทางเกือบตั้ง ฉากกับระนาบใบพัด หรือเฉียงเล็กน้อยกับ แกนเพลลาทำให้ได้	แปลง dynamic head เป็น static head ด้วย guide vane และ spiral casing
		หลายชั้น	120-200	static head และ	
	centrifugal pump	1 ชั้นแบบดูดเข้าข้างเดียว	100-450	dynamic head จาก แรงเหวี่ยงของใบพัด	ไม่มี guide vane จะแปลง dynamic head เป็น static head ด้วย spiral casing เท่านั้น
		1 ชั้นแบบดูดเข้าสองข้าง	120-750		
		หลายชั้น	120-200		
mixed flow pump			700-1200	มีโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง mixed flow pump กับ axial flow pump น้ำจะไหลเข้าไปในใบพัดทิศทางเฉียงๆ กับแกนเพลลา และ ไหลออกในแนวเฉียง ปั๊มนี้จะให้ static head และ dynamic head ด้วยแรงเหวี่ยงของใบพัดและแรงสูบ	
axial flow pump			1200-2000	น้ำจะไหลเข้าไปในใบพัดตามแกนเพลลา แล้วไหลออกในแนวแกนเพลลาเช่นกัน ซึ่งจะให้ static head และ dynamic head จากแรงสูบของใบพัด	

ปั๊มทำหน้าที่ในการสูบของเหลว จากจุดที่มีเฮดกดดันต่ำ (Low pressure head) โดยส่งของเหลวดังกล่าวออกไปตามระบบท่อ ด้วยเฮดความกดดันที่สูงกว่าเดิม (High pressure head) การที่จะให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเฮดกดดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเฮดความกดดันสูงนั้น จะต้องใช้ใบพัดปั๊มทำหน้าที่ในการถ่ายทอดพลังงานกลให้แก่ของไหลนั้นๆ เพื่อที่จะทำให้ของไหลมีพลังงานที่จะใช้ขับเคลื่อนตัวเอง โดยสามารถเอาชนะความต้านทานต่อการไหลภายในระบบนั้น ปั๊มจะสูบของไหลจากทางด้านดูด (suction) และออกทางด้านส่ง (delivery) โดยรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลัง อาทิ เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

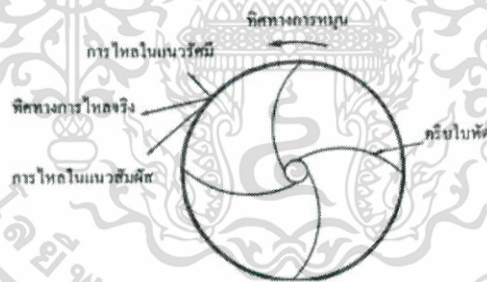
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ประเภทของปั๊มตามลักษณะการทำงาน

1. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)

ปั๊มประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ นม สารหล่อลื่น สารละลายเคมี วัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90 % และยังให้ทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มเรียกว่าโรเตอร์ (rotor) หรือใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลลาแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์

กลไกการส่งผ่านพลังงานในโรเตอร์หรือใบพัด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบทำให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangential flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้น ของไหลที่ถูกขับเคลื่อนออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง ดังรูป

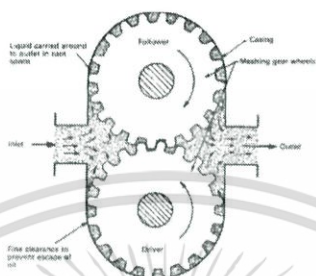


รูปที่ 3.16 แสดงทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออกจากใบพัดของ Centrifugal pump

2. แบบโรตารี (Rotary pumps)

ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบ ของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย ชิ้นส่วนที่หมุนดังกล่าวเรียกว่า โรเตอร์ การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

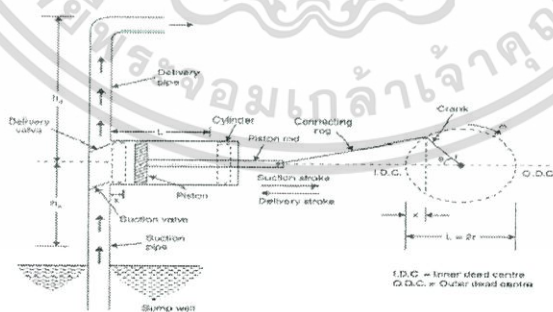
ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่นๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำ โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80 – 85 % ขึ้นอยู่กับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน และคุณลักษณะของของไหลที่ใช้สูบ



รูปที่ 3.17 แสดงภาพปั๊มโรตารีแบบเกียร์

3. แบบเลื่อนชัก หรือแบบลูกสูบ (Reciprocating pump)

ปั๊มแบบเลื่อนชักจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสมสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้ การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation)



รูปที่ 3.18 กลไกการทำงานของปั๊มแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขนาดของซีเมนต์

การหาขนาดและการกระจายของซีเมนต์อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ที่มีช่องขนาดต่างๆกันมักใช้กับซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม. ขึ้นไป ส่วนวิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือหลอดดูด(Pipette) วัดการตกตะกอนเหมาะสำหรับซีเมนต์ขนาด 0.2 มม. ถึง 0.0002 มม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

3.6.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

วิธีนี้เหมาะกับซีเมนต์ที่มีขนาดไม่เล็กมาก โดยการนำซีเมนต์แห้งไปทำการร่อนบนตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งตะแกรงที่ใช้ร่อนจะมีหลายขนาด ให้นำตะแกรงที่มีขนาดรูใหญ่สุดอยู่ข้างบนสุด และให้ไล่ลำดับลงไปจนเล็กสุด จำนวนตะแกรงกับขนาดรูของตะแกรงขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่เราต้องการ ตะแกรงที่เล็กที่สุดคือตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งมีขนาดรูเท่ากับ 0.075 มม.



รูปที่ 3.20 วิธีร่อนผ่านตะแกรง

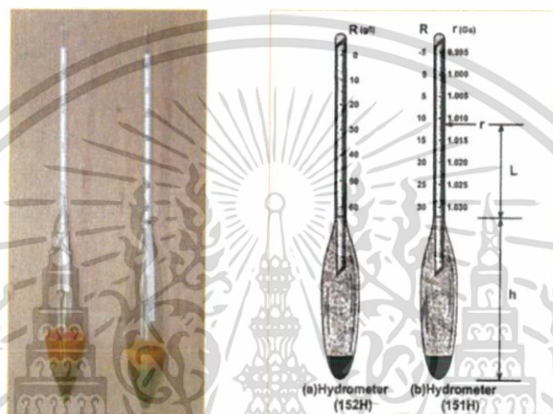
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการร่อน

เมื่อทำการร่อนบนตะแกรงเสร็จ เราจะนำซีเมนต์ที่ร่อนได้ในแต่ละชั้น มาเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักซีเมนต์ทั้งหมด

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของซีเมนต์ที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต์ในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของซีเมนต์ทั้งหมด}} \times 100$$

3.6.2 วิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

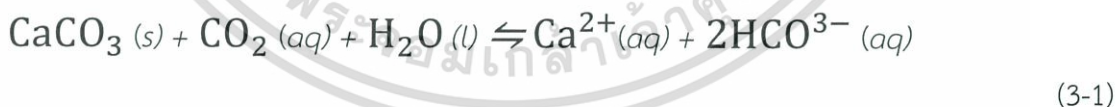
วิธีนี้เหมาะสำหรับซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง การทดสอบทำได้โดยนำซีเมนต์ที่ต้องการหาขนาดมาละลายน้ำแล้วใส่ลงไปในหลอดแก้ว เพื่อให้ซีเมนต์กระจายตัวและแขวนลอยในน้ำ จากนั้นใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน หรือวัดความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ที่ความลึก h ในช่วงเวลาต่างๆกัน ซึ่งจะเป็นไปตามกฎของสโตค (Storke's Law) คือ ความเร็วของการตกตะกอนของซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของซีเมนต์ ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลวและขนาดของซีเมนต์ กล่าวคือซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ จะตกตะกอนเร็วกว่าซีเมนต์เล็ก เมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอนก็สามารถหาขนาดของซีเมนต์ได้



รูปที่ 3.21 Hydrometer Analysis

3.7 การเกิดตะกอน

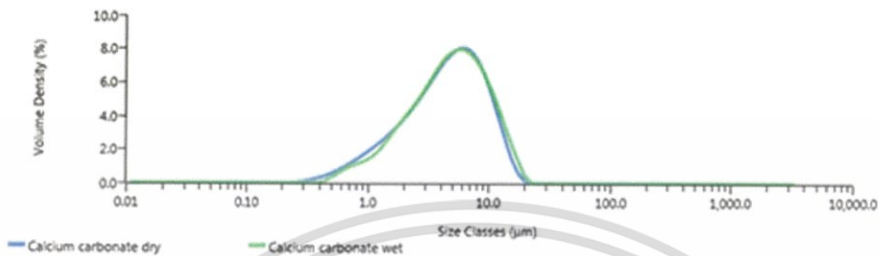
ตะกอน เกิดจากสารประกอบกลุ่มเกลือแคลเซียม และแมกนีเซียม โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากกลุ่มแร่ธาตุแคลเซียมเป็นหลัก เพราะปัญหาส่วนใหญ่จะมาจากสารละลายจำพวกนี้กว่า 95 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ชัดเจนคือ การตกผลึก และทำได้เองอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ 3-1



เมื่อน้ำได้รับความร้อนและระเหยไป จะทำให้สมดุลของสมการ 3-1 เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปทางซ้าย ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตสูงขึ้น เกิดเป็นตะกอน จนเราไม่สามารถยับยั้งได้ มีวิธีเดียวที่จะไม่ให้น้ำเกิดพอกตัวในอุปกรณ์ของเรา คือการแยกออกจากน้ำเท่านั้น(หมายถึงเราต้องนำเอาน้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยหรือไม่มีเลยไปใช้งาน) เมื่อใดก็ตามที่เกิดสถานะความแตกต่างของอุณหภูมิ สารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำจะก่อตัวเป็นหินปูน และแยกตัวออกจากน้ำอย่างอิสระ จึงสามารถพบปัญหาเหล่านี้ใน หม้อไอน้ำ, heat exchanger, แนวท่อในโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นฉนวนความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพของโรงงานลดลง เช่นเดียวกับ หัวฉีดที่อยู่ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำที่มีอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถก่อตัวเป็นหินปูนและพอกพูนที่หัวฉีดจนเกิดการอุดตันได้ โดยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำนั้น มีขนาดน้อยกว่าเท่ากับ 1 ไมครอน ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 3.22 ดังนั้นการเลือกใช้ไมโครฟิลเตอร์ขนาดรู 1 ไมครอน จึงสามารถกรองเอาอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และลดโอกาสเกิดหินปูนอุดตันที่หัวฉีดในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกได้



รูปที่ 3.22 การปะปนของแคลเซียมคาร์บอเนตที่วัดได้ในของเหลว (เปียก) และการกระจายตัวแบบแห้ง

3.8 ทฤษฎีสำหรับการกรอง

การกรองเป็นกระบวนการแยกสารที่มีลักษณะแขวนลอยโดยที่สารนี้อาจจะเป็น ของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ ออกจากของไหลซึ่งเป็นของเหลวหรือก๊าซ การกรองส่วนใหญ่มักจะใช้ในการกำจัดอนุภาคของแข็ง ออกจากของเหลว

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการกรองได้แก่

1. ความต้านลของการป้อนสาร
2. พื้นที่ผิวในการกรอง
3. ความหนืดของของเหลวไหลที่ได้จากการกรอง
4. ความต้านทานการกรองของเค้ก
5. ความต้านทานของตัวกลาง(ฟิลเตอร์)ที่ใช้กรอง

การกรองเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของแข็งเกิดการสะสมที่ผิวตัวกลางที่มีความพรุนโดยที่ของเหลวจะไหลผ่านตัวกลางไป การสะสมของอนุภาคของแข็งจะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น ทำให้อัตราการกรองลดลงเรื่อยๆ ขณะเกิดการกรองที่ความดันคงที่

3.8.1 สมการพื้นฐานสำหรับการกรอง

อธิบายการกรองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ อธิบายด้วยสมการของกลศาสตร์ของไหลหรือจากกฎของ Darcy ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 กฎของ Darcy

จากกฎของ Darcy แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (Flow rate) ผ่านเบตพรุน (porous bed) ของของแข็ง กับค่าความดันลด (pressure drop) ดังในสมการต่อไปนี้

$$V = \frac{k\Delta P}{\mu l} \quad (3-2)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของของเหลว ในหน่วย m/s

k คือ ค่าคงที่สัดส่วน หรือหมายถึงความสามารถของเบตที่ยอมให้ของเหลวแพร่ผ่านได้จากกฎของ Darcy ในหน่วย m^2

ΔP คือ ค่าความดันลด ในหน่วย Pa

l คือ ค่าความหนาของเบต ในหน่วย m

μ คือ ความหนืดของของเหลว ในหน่วย $Pa \cdot s$

จากสมการ (3-2) แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันลด

และเขียนค่าความต้านทาน, l/k (หน่วย m^{-1}) ที่เป็นผลรวมของค่าความต้านทานของเค้กและความต้านทานของตัวกลางกรองได้ดังนี้

$$\frac{l}{k} = R_C + R_M$$

(3-3)

โดยที่ R_M คือ ความต้านทานของตัวกลางการกรองที่มีต่อการไหลของฟิลเตรท (m^{-1})

R_C คือ ความต้านทานของเค้กหรือชีวมวลที่สะสม (m^{-1})

รวมสมการ (3-2) และ (3-3) จะได้สมการพื้นฐานสำหรับการกรองดังนี้คือ

$$V = \frac{\Delta P}{\mu(R_C + R_M)} \quad (3-4)$$

จากสมการ (3-4) ค่าความต้านทานของตัวกลางการกรอง, R_M จะคงที่ แต่ค่าความต้านทานของเค้ก, R_C จะมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับปริมาตรของฟิลเตรทและปริมาณของเค้กที่กรองได้

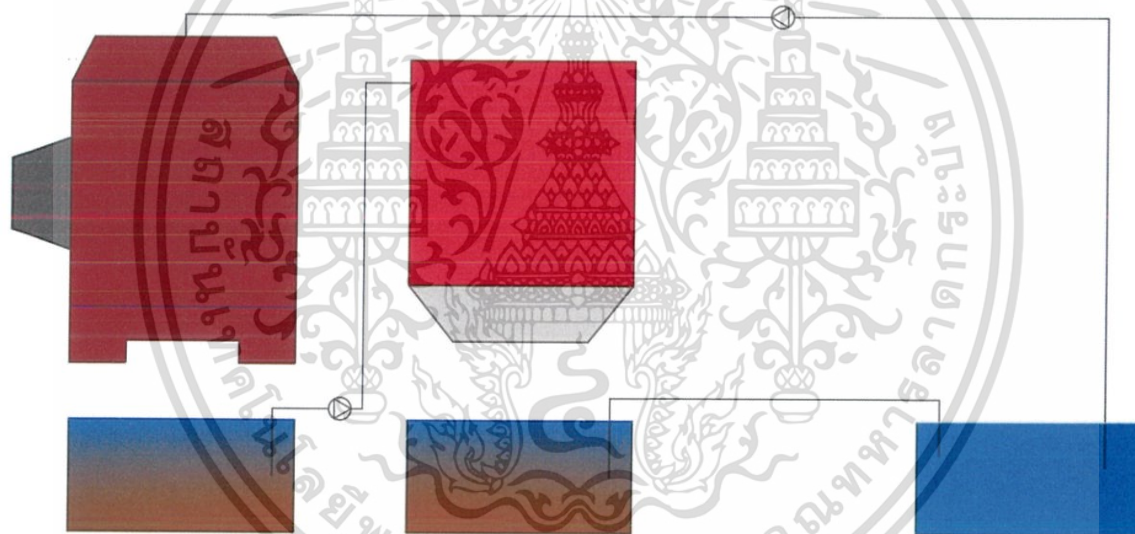
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

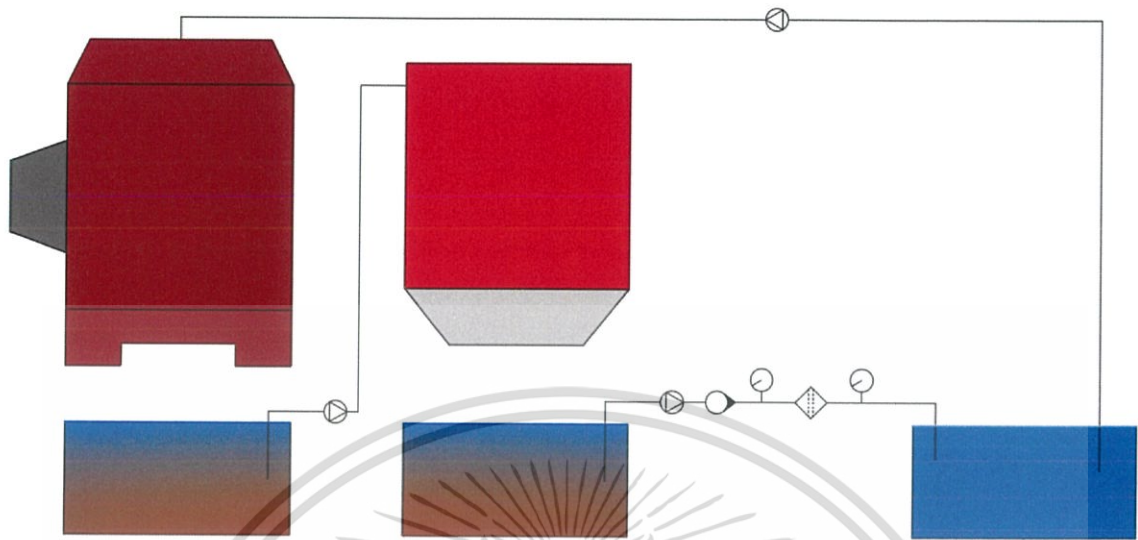
การออกแบบชุดทดลอง พัฒนาระบบ และการคำนวณ

4.1 ปัญหาของระบบและการออกแบบพัฒนาระบบ

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาในบทที่ 1 นั้น จะเห็นได้ว่าน้ำหมุนเวียนที่มีความสกปรก และมีซี้เกาะปนอยู่ในน้ำมากนั้น ทำให้ต้องเติมน้ำที่สะอาดเข้ามาในระบบเพื่อช่วยดักจับซี้เกาะ และมีตะกอนอยู่ตามหัวฉีด ส่งผลให้เกิดการอุดตัน ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหา และสรุปแนวทางได้ว่า ทางผู้วิจัยจะทำการสร้างระบบกรองน้ำเพื่อจับซี้เกาะในน้ำหมุนเวียนให้สะอาด ก่อนนำน้ำที่กรองแล้วกลับไปใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกต่อไป โดยเราจะมีภาพก่อนติดตั้งระบบกรองน้ำ ดังรูปที่ 4.1 และ หลังติดตั้งชุดทดลอง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนผังการไหลวนของน้ำหมุนเวียนก่อนติดตั้งระบบกรองน้ำ



รูปที่ 4.2 แผนผังการไหลวนของน้ำหมุนเวียนหลังติดตั้งชุดทดลอง

จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดทดลองกรองน้ำครั้งแรก ทางผู้วิจัยได้ทำการกรองโดยใช้ไมโครฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียวในการกรอง เพื่อศึกษาการกรองเบื้องต้น

4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์

เนื่องจากการวิจัยระบบกรองน้ำนี้จะทดสอบในเรื่องของอัตราการไหลเป็นส่วนใหญ่จึงต้องมีการสอบเทียบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพื่อข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด

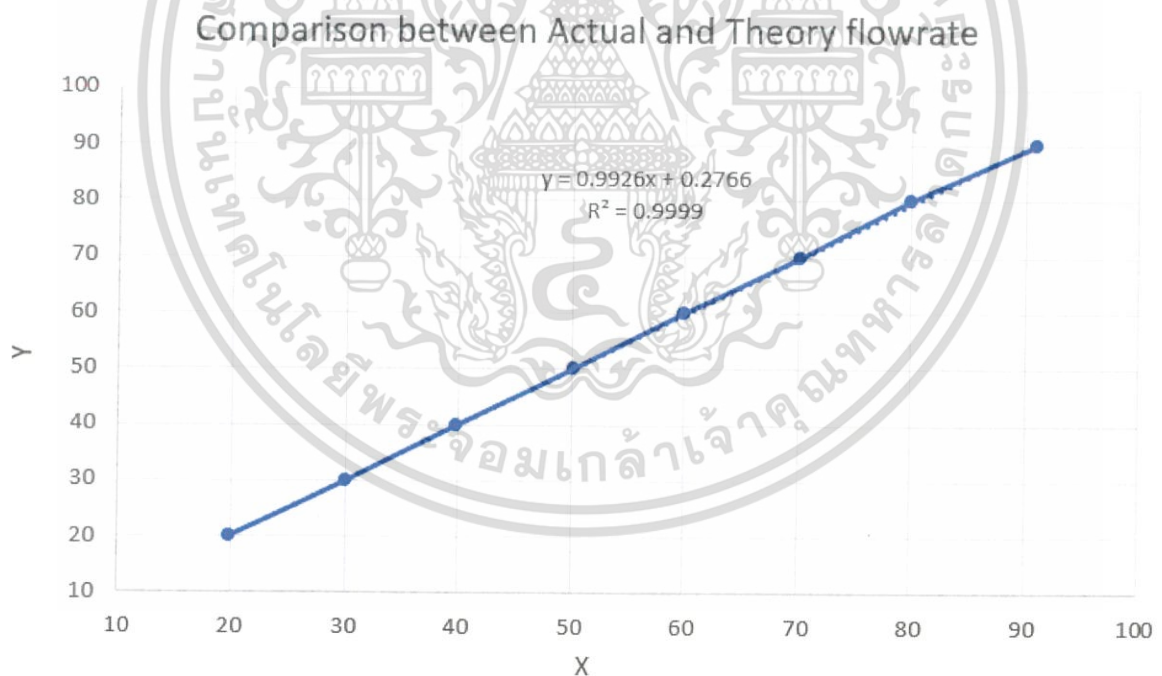
4.2.1 การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดของ Rotameter

ทางผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบโรตานิเตอร์ โดยการใช้ถังน้ำความจุ 10 ลิตรที่ผ่านการตรวจวัดปริมาตรอย่างแม่นยำแล้ว มาเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบค่า เพื่อให้การวัดอัตราการไหลของน้ำที่วัดโดยโรตานิเตอร์แม่นยำ โดยการทดลองสูบน้ำแล้วปรับวาล์วไปที่ย่านอัตราการไหลในระดับต่างๆของโรตานิเตอร์ แล้วจับเวลาเพื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลจริง

โรตานิเตอร์ที่ทางผู้วิจัยใช้ทดสอบมีย่านอัตราการไหล ตั้งแต่ 20 L/m ถึง 100 L/m ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการคาลิเบรทตั้งแต่ช่วง 20 L/m จนถึง 90 L/m โดยทำการทดลองช่วงละ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยที่กึ่งกลาง

ตารางที่ 4.1 จำนวนอัตราการไหลจากเวลาที่วัดได้เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่อ่านจากโรตاميเตอร์

ถังน้ำ 10 ลิตร							
อัตราการไหลที่อ่านได้จากโรตاميเตอร์(L/m)	เวลาที่ใช้จนเต็มถัง(s)					เวลาเฉลี่ย (s)	อัตราการไหลที่คำนวณได้(L/m)
20	30.15	29.89	30.22	29.95	29.87	30.016	19.99
30	19.78	19.82	20.12	20.07	19.99	19.956	30.07
40	15.03	15.18	14.95	14.87	15.12	15.03	39.92
50	11.97	11.89	12.03	11.85	12.12	11.972	50.12
60	9.83	9.97	10.08	10.21	9.92	10.002	59.99
70	8.46	8.67	8.5	8.72	8.41	8.552	70.16
80	7.59	7.42	7.35	7.68	7.49	7.506	79.94
90	6.68	6.78	6.52	6.55	6.48	6.602	90.88



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Actually และ Theory ของ Rotameter

X = อัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณเวลาตวงน้ำ

Y = อัตราการไหลอ่านได้จากโรตاميเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดของ Ultrasonic Flow Meter

ทางผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบอัลตราโซนิกโฟลว์มิเตอร์ ด้วยวิธีการเดียวกันกับ การสอบเทียบโรตารีมิเตอร์ โดยเริ่มจากติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลอัลตราโซนิกไว้ที่ท่อ PVC หลังจากนั้นทำการหลีวาล์วเพื่อให้ได้อัตราการไหลต่างๆที่ปรากฏขึ้นบนจอ แล้วทำการตวงน้ำใส่ถังแล้วจับเวลา

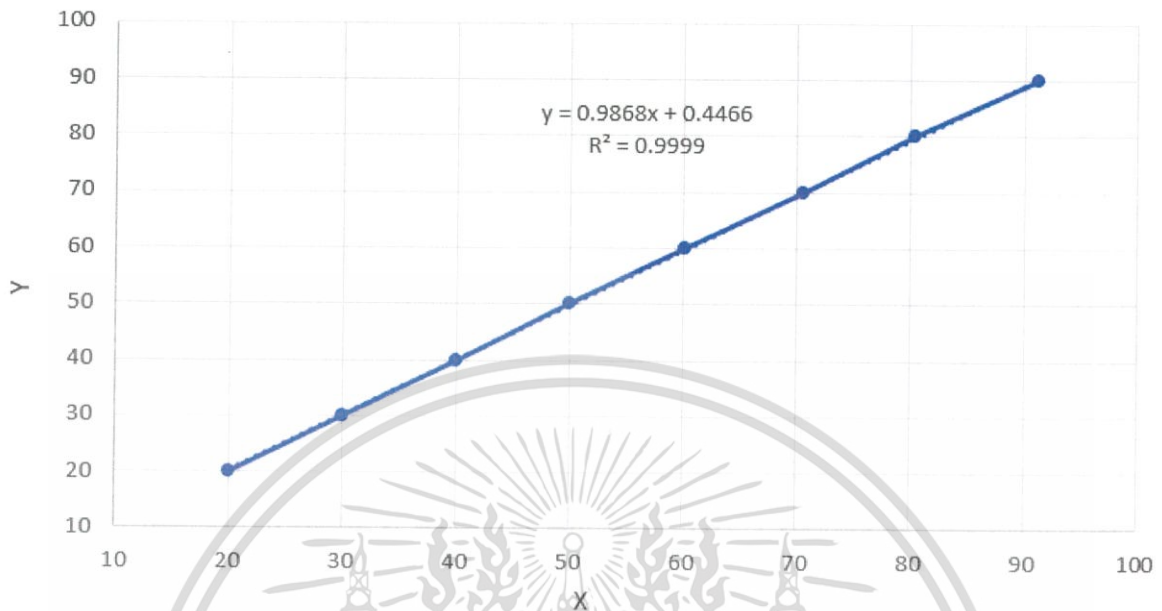
ทางผู้วิจัยได้ทำการคาลิเบรตตั้งแต่ช่วง 20 L/m จนถึง 90 L/m โดยทำการทดลองช่วงละ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยที่กึ่งกลาง

ตารางที่ 4.2 คำนวนอัตราการไหลจากเวลาที่วัดได้เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่อ่านจากอัลตราโซนิก

ถึงน้ำ 10 ลิตร							
อัตราการไหลที่อ่านได้จากอัลตราโซนิก(L/m)	เวลาที่ใช้น้ำเต็มถัง(s)					เวลาเฉลี่ย (s)	อัตราการไหลที่คำนวณได้(L/m)
	20	30.18	28.89	30.21	29.96		
30	19.86	19.95	20.22	20.02	19.87	19.984	30.02
40	15.12	15.06	14.87	14.89	15.09	15.006	39.98
50	11.98	11.85	12.11	12.05	12.04	12.006	49.98
60	9.84	9.92	10.04	10.16	9.97	9.986	60.08
70	8.35	8.46	8.62	8.72	8.41	8.512	70.49
80	7.6	7.36	7.23	7.63	7.48	7.46	80.43
90	6.7	6.68	6.47	6.53	6.52	6.58	91.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison between Actual and Theory flowrate



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Actually และ Theory ของ Ultrasonic flow meter

X = อัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณเวลาตวงน้ำ

Y = อัตราการไหลอ่านได้จากอัลตราโซนิกโฟลว์มิเตอร์

4.3 การออกแบบชุดทดลองเพื่อศึกษาการกรองน้ำเบื้องต้น

4.3.1 วัดอัตราการไหลที่เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกต้องการ

ทางผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ Ultrasonic flow meter ในการวัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่เครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก ซึ่งอัตราการไหลที่วัดได้นั้น เท่ากับ 35 L/m ฉะนั้นในระบบกรองของผู้วิจัยนั้น จะต้องสามารถให้อัตราการไหลให้ได้ อย่างน้อยที่สุด 35 L/m เพื่อให้เพียงพอต่อการนำน้ำหมุนเวียนกลับไปใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

4.3.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองระบบกรองน้ำ

ทางผู้วิจัยได้สร้างชุดทดลองเพื่อทดสอบการใช้งานของไมโครฟิลเตอร์ โดยสังเกตและบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของความดันและอัตราการไหลของระบบ ซึ่งมีส่วนประกอบคือ อุปกรณ์และท่อ PVC, เกจวัดความดัน, โรตاميเตอร์, ป้อน้ำ, และไมโครฟิลเตอร์ขนาดรู 10, 5, และ 1 ไมครอน

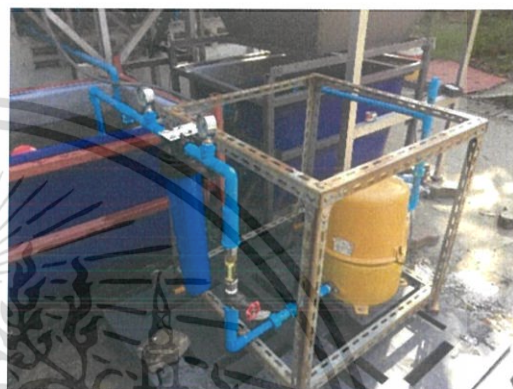
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การเลือกปั๊มที่ใช้กับชุดทดลองระบบกรองน้ำ

เนื่องจากที่ห้องปฏิบัติการมีปั๊มน้ำที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นปั๊มน้ำยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น WP-105Q5 ดังรูปที่ 4.5 ทางผู้วิจัยจึงได้นำปั๊มน้ำดังกล่าวมาใช้กับชุดทดลองระบบกรองน้ำ ดังรูปภาพที่ 4.6 เป็นชุดทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันตกและอัตราการไหลเมื่อกรองน้ำด้วยไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 10, 5, และ 1 ไมครอน ดังภาพที่ 4.7



รูปที่ 4.5 ปั๊มน้ำรุ่น Mitsubishi WP-105Q5



รูปที่ 4.6 ชุดทดลองระบบกรองน้ำ



รูปที่ 4.7 ไมโครฟิลเตอร์ขนาดรู 10, 5, และ 1 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการสูญเสียเฮด (Total dynamic head) ของชุดทดลองระบบกรองน้ำ

$$TDH = (Z_2 - Z_1) + (h_{L,major} + h_{L,minor}) \quad (4-1)$$

โดยที่

- TDH = การสูญเสียเฮด (m)
 Z = ความสูงของระดับน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น (m)
 $h_{L,major}$ = การสูญเสียเฮดจากความฝืดของท่อ (m)
 $h_{L,minor}$ = การสูญเสียเฮดจากการไหลผ่านอุปกรณ์ (m)

การคำนวณการสูญเสียเฮดจากความฝืดของท่อ (Major loss)

คำนวณด้วยวิธีของ Hazen-Williams

$$h_{L,major} = \frac{10.67 \times Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times D^{4.8704}} \quad (4-2)$$

โดยที่

- Q = อัตราการไหล (m^3/s)
 L = ความยาวของท่อ (m)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 C = สัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams

Hazen-Williams Coefficient, C_{HW} , for Different Types of Pipes	
Pipe Materials	C_{HW}
Brass	130-140
Cast iron (common in older water lines)	
New, unlined	130
10-year-old	107-113
20-year-old	89-100
30-year-old	75-90
40-year-old	64-83
Concrete or concrete lined	
Smooth	140
Average	120
Rough	100
Copper	130-140
Ductile iron (cement mortar lined)	140
Glass	140
High-density polyethylene (HDPE)	150
Plastic	130-150
Polyvinyl chloride (PVC)	150
Steel	
Commercial	140-150
Riveted	90-110
Welded (seamless)	100
Vitrified clay	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบมีความยาวท่อ 6.48 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 0.024 เมตร และค่าสัมประสิทธิ์ Hazen-Williams ของท่อ PVC คือ 150 แทนค่าลงในสมการที่ 4-2 จะได้

$$h_{L,major} = \frac{10.67 \times Q^{1.852} \times 6.48}{150^{1.852} \times 0.024^{4.8704}}$$

$$h_{L,major} = 499617.431Q^{1.852}$$

การคำนวณการสูญเสียเฮดจากการไหลผ่านอุปกรณ์ (Minor loss)

$$h_{L,minor} = \sum K_L \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (4-3)$$

โดยที่

$\sum K_L$ = ผลรวมของสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)

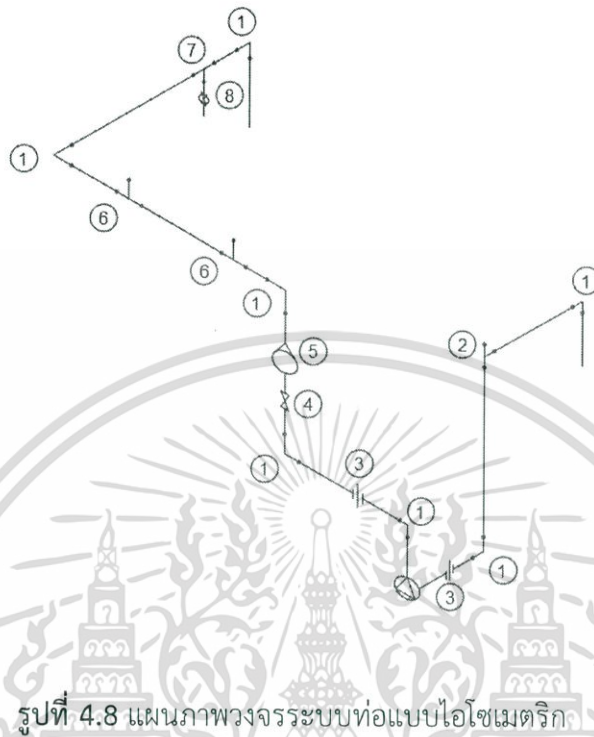
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ [8]

Type of Component or Fitting	Minor Loss Coefficient
Tee, Flanged, Dividing Line Flow	0.2
Tee, Threaded, Dividing Line Flow	0.9
Tee, Flanged, Dividing Branched Flow	1.0
Tee, Threaded, Dividing Branch Flow	2.0
Union, Threaded	0.08
Elbow, Flanged Regular 90°	0.3
Elbow, Threaded Regular 90°	1.5
Elbow, Threaded Regular 45°	0.4
Elbow, Flanged Long Radius 90°	0.2
Elbow, Threaded Long Radius 90°	0.7
Elbow, Flanged Long Radius 45°	0.2
Return Bend, Flanged 180°	0.2
Return Bend, Threaded 180°	1.5
Globe Valve, Fully Open	10
Angle Valve, Fully Open	2
Gate Valve, Fully Open	0.15
Gate Valve, 1/4 Closed	0.26
Gate Valve, 1/2 Closed	2.1
Gate Valve, 3/4 Closed	17
Swing Check Valve, Forward Flow	2
Ball Valve, Fully Open	0.05
Ball Valve, 1/3 Closed	5.5
Ball Valve, 2/3 Closed	200
Diaphragm Valve, Open	2.3
Diaphragm Valve, Half Open	4.3
Diaphragm Valve, 1/4 Open	21
Water meter	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาอุปกรณ์ PVC ของชุดทดลองจะสามารถหาค่า $\sum K_L$ ได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 แผนภาพวงจรระบบท่อแบบไอโซเมตริก

จากรูปที่ 4.8 สามารถหาค่า $\sum K_L$ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 การหาค่าผลรวมของสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์

Number	Type of component or fitting	Minor loss coefficient	Amount	Sum
1	Elbow, Flanged Regular 90°	0.3	7	2.1
2	Tee, Flanged, Dividing Branched Flow	1	0	0
3	Union, Threaded	0.08	2	0.16
4	Gate Valve, Fully Open	0.15	1	0.15
5	Water meter	7	1	7
6	Tee, Threaded, Dividing Line Flow	0.9	2	1.8
7	Tee, Flanged, Dividing Line Flow	0.2	1	0.2
8	Ball Valve, Fully Open	0.05	1	0.05
Total minor loss coefficient ($\sum K_L$)				4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น แทนค่าลงในสมการ 4-3

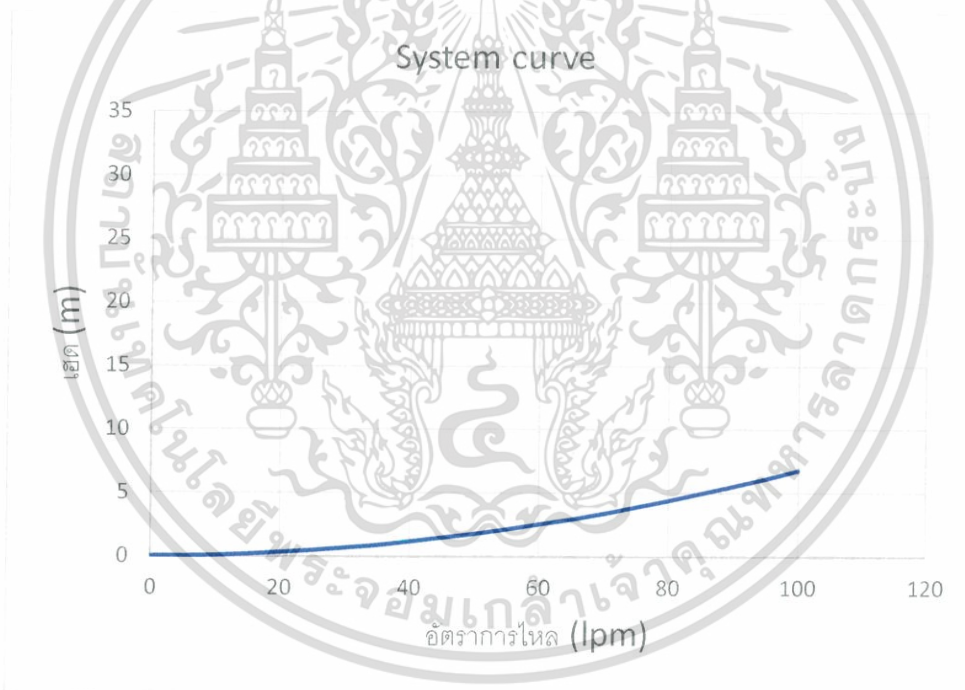
$$h_{L,minor} = 4.46 \times \frac{Q^2}{2 \times 9.81 \times (\pi \times 0.012^2)^2}$$

$$h_{L,minor} = 1148093.327Q^2$$

ดังนั้น จากสมการที่ 4-1 เมื่อระดับน้ำสูงเท่ากัน เราจะได้สมการการสูญเสียเฮดของระบบคือ

$$TDH = 499617.431Q^{1.852} + 1148093.327Q^2$$

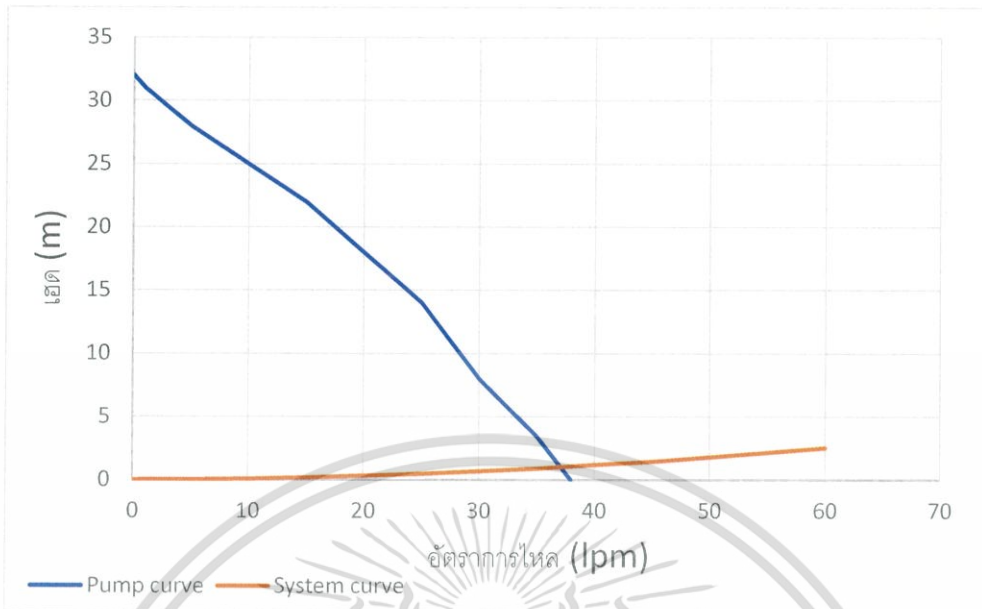
เมื่อนำสมการการสูญเสียเฮดที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบ จะได้กราฟที่เรียกว่า System curve ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของชุดทดลองระบบกรองน้ำ

และเมื่อเรานำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั๊ม (Pump curve) นำมาเขียนร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของชุดทดลองระบบกรองน้ำ (System curve) จะได้ดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั้มน้ำและชุดทดลองระบบกรองน้ำ

ที่จุดตัดของกราฟทั้งสองเส้นจะเป็นจุดทำงานของระบบ ซึ่งก็คือที่อัตราการไหล 37 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลนี้ เป็นเพียงอัตราการไหลเริ่มต้น และจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเกิดการอุดตันของฟิลเตอร์ เนื่องจากอัตราการไหลที่ต้องการอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 35 ลิตรต่อนาที ปั้มน้ำจึงไม่เหมาะสมกับระบบ ผู้วิจัยจึงต้องคำนวณและเลือกปั้มน้ำตัวใหม่มาใช้

4.4 การออกแบบระบบกรองน้ำ

4.4.1 ส่วนประกอบของระบบกรองน้ำ

เราเลือกท่อ PVC 8.5 ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว เนื่องจาก PVC ชั้น 8.5 นี้ หมายถึง สามารถรับความดันได้ 8.5 kg/cm² ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน และถูกกว่า PVC ชั้น 13.5 และขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว เพราะราคาถูกกว่าท่อ 1 นิ้ว ถึง 2 บาทต่อเมตร และส่วนประกอบต่างๆที่จำเป็น เช่น ข้อต่อตรง ยูเนียน ข้องอ 90 องศา สามทาง และ วาล์ว

4.4.2 การเลือก Pre-filter

จากผลการศึกษาชุดทดลอง เกิดการอุดตันที่ฟิลเตอร์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ที่ติดอยู่ที่พื้นผิวฟิลเตอร์ขวางอนุภาคขนาดเล็ก ทางผู้วิจัยตัดสินใจที่จะใส่ไส้กรองหยาบ เพื่อที่จะให้เกิดการอุดตันช้าลงบนไมโครฟิลเตอร์ โดยพิจารณาจาก size distribution ของซีเมนต์ที่ออกมาจากเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก ดังตารางที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ คือซีเมนต์ที่มีขนาดมากกว่า 100 ไมครอน ผู้วิจัยจึงเลือกไส้กรองหยาบที่มีขนาดรู 100 ไมครอน มาเป็นพรีฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 Size distribution ของซีเมนต์ [9]

Size Range		
Max D (mm)	Min D (mm)	Percent (%)
2.36	1.18	0.4083665
1.17	0.60	2.0517928
0.59	0.30	26.713147
0.29	0.15	25.577689
0.14	0.075	14.223108
0.074	0.0552415	0.3335842
0.0552414	0.0393255	1.1409111
0.0393254	0.0272649	2.2818223
0.0272648	0.0224928	1.7113667
0.0224927	0.0196116	1.1409111
0.0196115	0.0177171	1.7113667
0.0177170	0.0146082	1.7113667
0.0146081	0.0128135	2.2818223
0.0128134	0.0115327	1.1409111
0.0115326	0.0105606	0.5704556
0.0105605	0.0092021	1.1409111
0.0092020	0.0075592	1.1409111
0.0075591	0.0065858	1.1409111
0.0065857	0.0053773	0
0.0053772	0.0049932	0.5704556
0.0049931	0.0046846	0.5704556
0.0046845	0.001781	1.1409111
0.001780	0	10.838656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การเลือกปั๊มที่ใช้กับระบบกรองน้ำ

จากผลของชุดทดลอง อัตราการไหลที่ปั๊ม Mitsubishi WP-105Q5 ทำได้นั้นไม่เพียงพอ ทางผู้วิจัยจึงทำการตัดสินใจเปลี่ยนปั๊มน้ำที่ใช้กับระบบกรอง โดยจะต้องมีอัตราการไหลสูง และเฮดเพียงพอ เพื่อให้เหมาะสมกับระบบ

การคำนวณการสูญเสียเฮด (Total dynamic head) ของระบบกรองน้ำ

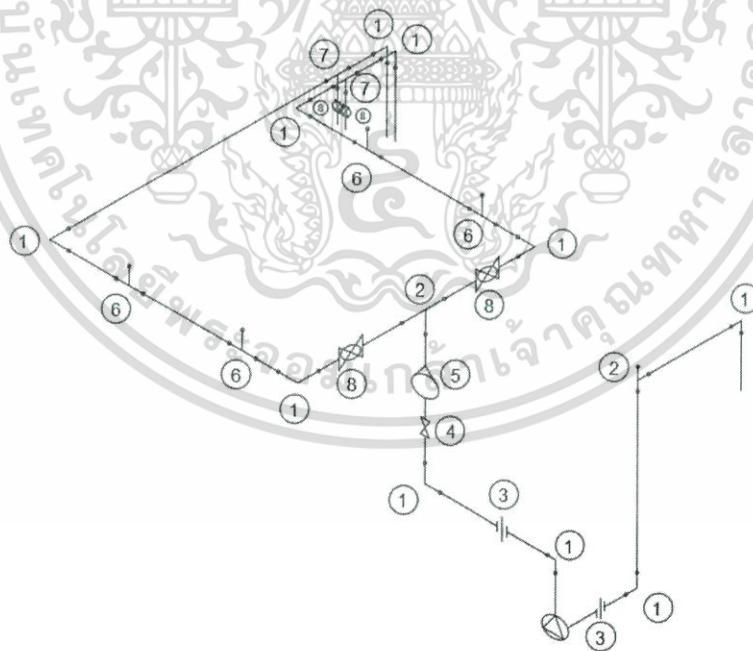
จากสมการที่ 4-1 เราต้องคำนวณหาการสูญเสียเฮดจากความฝืดของท่อ (Major loss) และการสูญเสียเฮดจากการไหลผ่านอุปกรณ์ (Minor loss) ก่อน

โดยที่ระบบกรองน้ำมีความยาวท่อ 7.86 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 0.024 เมตร และค่าสัมประสิทธิ์ Hazen-Williams ของท่อ PVC คือ 150 แทนค่าลงในสมการที่ 4-2 จะได้

$$h_{L,major} = \frac{10.67 \times Q^{1.852} \times 7.86}{150^{1.852} \times 0.024^{4.8704}}$$

$$h_{L,major} = 606017.4394Q^{1.852}$$

เมื่อพิจารณาอุปกรณ์ PVC ของชุดทดลองจะสามารถหาค่า $\sum K_L$ ได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 แผนภาพวงจรระบบท่อแบบไฮโดเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 สามารถหาค่า ΣK_L ได้ดังนี้

ตารางที่ 6 การหาค่าผลรวมของสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์

Number	Type of component or fitting	Minor loss coefficient	Amount	Sum
1	Elbow, Flanged Regular 90°	0.3	10	3
2	Tee, Flanged, Dividing Branched Flow	1	2	2
3	Union, Threaded	0.08	2	0.16
4	Gate Valve, Fully Open	0.15	1	0.15
5	Water meter	7	1	7
6	Tee, Threaded, Dividing Line Flow	0.9	4	3.6
7	Tee, Flanged, Dividing Line Flow	0.2	2	0.4
8	Ball Valve, Fully Open	0.05	4	0.2
Total minor loss coefficient (ΣK_L)				16.51

จากนั้นแทนค่าลงในสมการ 4-3

$$h_{L,minor} = 16.51 \times \frac{Q^2}{2 \times 9.81 \times (\pi \times 0.012^2)^2}$$

$$h_{L,minor} = 4111718.185Q^2$$

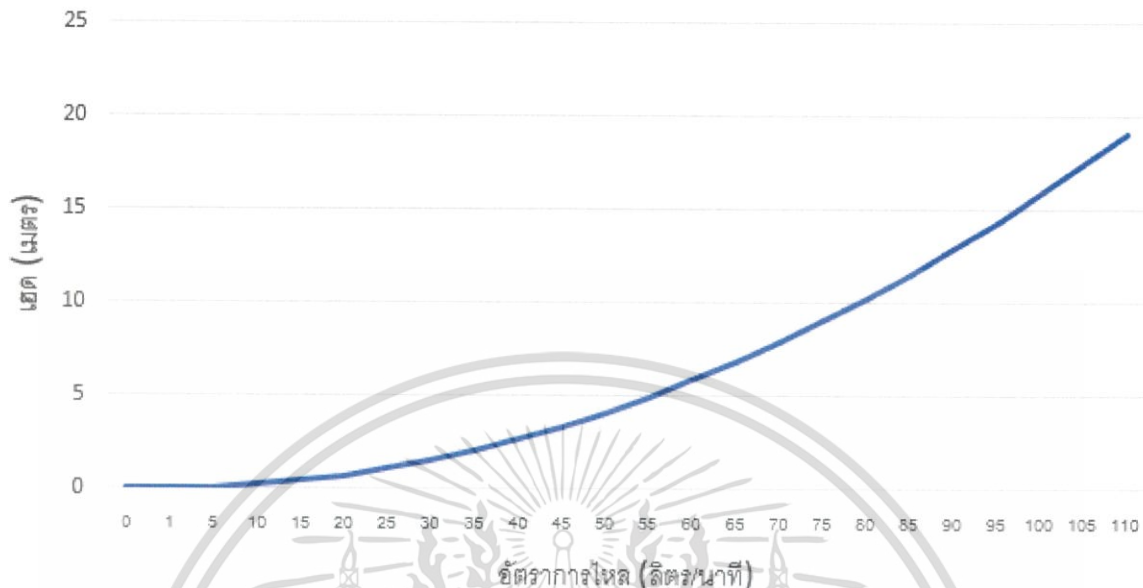
ดังนั้น จากสมการที่ 4-1 เมื่อระดับน้ำสูงเท่ากัน เราจะได้สมการการสูญเสียเฮดของระบบคือ

$$TDH = 606017.4394Q^{1.852} + 4111718.185Q^2 \quad (4-4)$$

เมื่อนำสมการการสูญเสียเฮดที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบ จะได้กราฟ System curve ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System Curve



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบกรองน้ำ

เนื่องจากฟิลเตอร์สามารถทำงานได้ที่ความดันตกคร่อมไม่เกิน 3 บาร์หรือ 300,000 พาสคัล ดังรูปที่ 4.13

POLYPROPYLENE MELT BLOWN CARTRIDGE
N95 F

FEATURES		MATERIAL	
Model	N95 F	Filtration material	Polypropylene
Type	Melt Blown	Internal core	Polypropylene
Height	9" ¾ - 20" - 30" - 40"	External core	None
Internal diameter	28 mm	PRESSURE	
External diameter	63 mm	Max working pressure	6 bar
Micron	1 µm - 5 µm - 10 µm - 20 µm	MAX differential pressure suggested	3 bar
Efficiency	95%	TEMPERATURE	
Hot sanitizing	No	Max working temperature	80°C

รูปที่ 4.13 รูปแสดงความดันตกคร่อมที่แนะนำสำหรับวัสดุโพลีโพรพิลีน

ผู้วิจัยจึงกำหนดค่า safety factor ของความดันตกคร่อมสูงสุดเท่ากับ 1.3 เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิลเตอร์เกิดความเสียหาย จะได้

$$\text{ความดันตกคร่อมที่ต้องการ} = \frac{\text{ความดันตกคร่อมสูงสุด}}{\text{safety factor}} = \frac{3}{1.3} = 2.3 \text{ บาร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่าความดันตกคร่อมที่คำนวณได้มาคำนวณหาเฮดที่เกิดจากความดัน จากสมการที่ 4-5

$$H_p = \frac{P}{\rho g} \quad (4-5)$$

โดย

H_p คือ เฮดที่เกิดจากความดัน (m)

P คือ ความดัน (Pa)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

แทนค่า

$$H_p = \frac{2.3 \times 1000}{1000 \times 9.81}$$

$$H_p = 23.44 \text{ m}$$

เนื่องจากอัตราการไหลต่ำสุดที่เราต้องการคือ 35 ลิตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อแทนลงไปนสมการ 4-4 จะได้ค่า TDH เท่ากับ

$$TDH = 606017.4394(35 \times 1.67 \times 10^{-5})^{1.852} + 5680696.05(35 \times 1.67 \times 10^{-5})^2$$

$$TDH = 2.03 \text{ m}$$

ดังนั้นจะได้ค่าเฮดรวมที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาทีและความดัน 2.3 บาร์ เท่ากับ

$$\text{เฮดรวม} = H_p + TDH = 23.44 + 2.03 = 25.47 \text{ m}$$

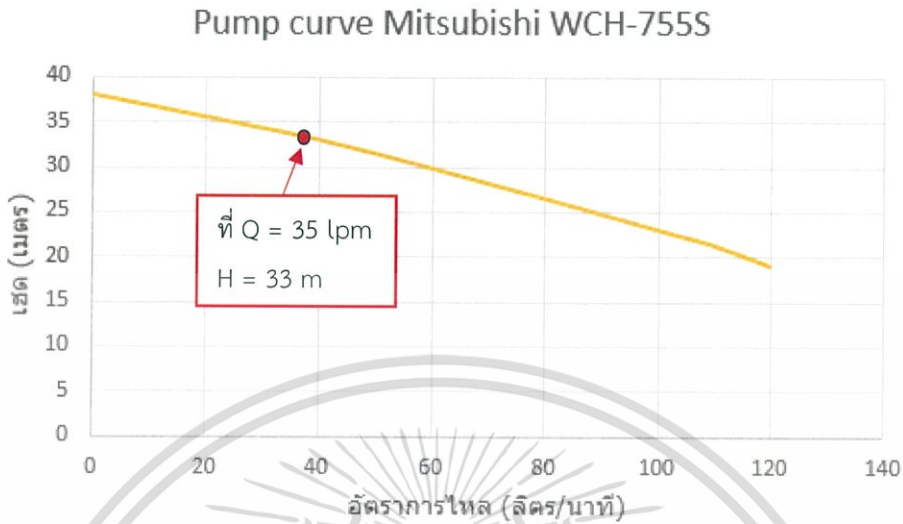
ซึ่งปั๊มที่ผู้วิจัยนำมาคำนวณเป็นปั๊มหอยโข่งยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น WCH-755S ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ปั๊มหอยโข่ง Mitsubishi รุ่น WCH-755S

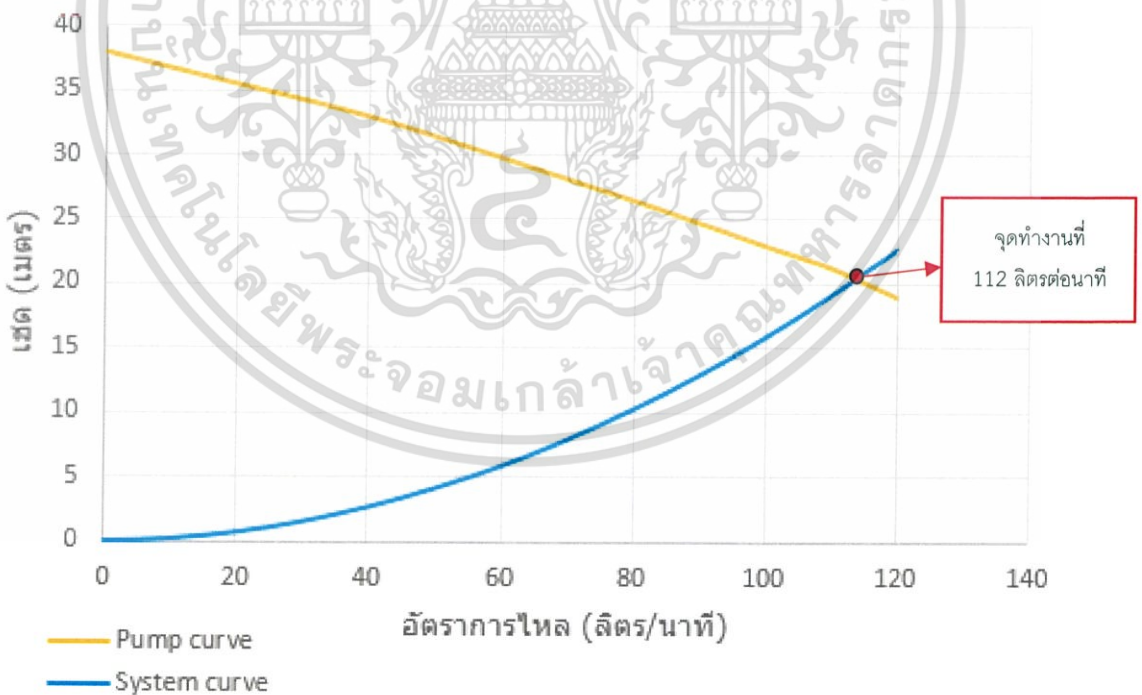
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปั๊ม Mitsubishi รุ่น WCH-755S มีกราฟสมรรถนะของปั๊มดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟสมรรถนะของปั๊ม Mitsubishi รุ่น WCH-755S

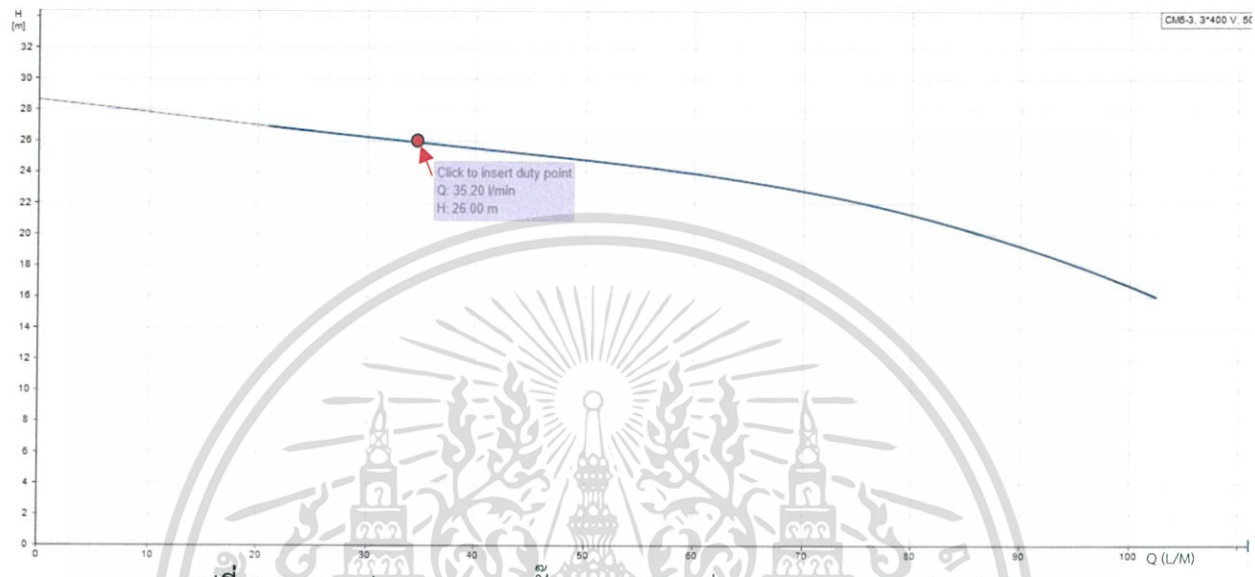
จะเห็นว่าที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาทีเฮดปั๊มเท่ากับ 33 เมตรซึ่งเพียงพอต่อระบบ และเมื่อเรานำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั๊ม (Pump curve) นำมาเขียนร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบกรองน้ำ (System curve) จะได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั๊มน้ำ Mitsubishi รุ่น WCH-755S และระบบกรองน้ำ

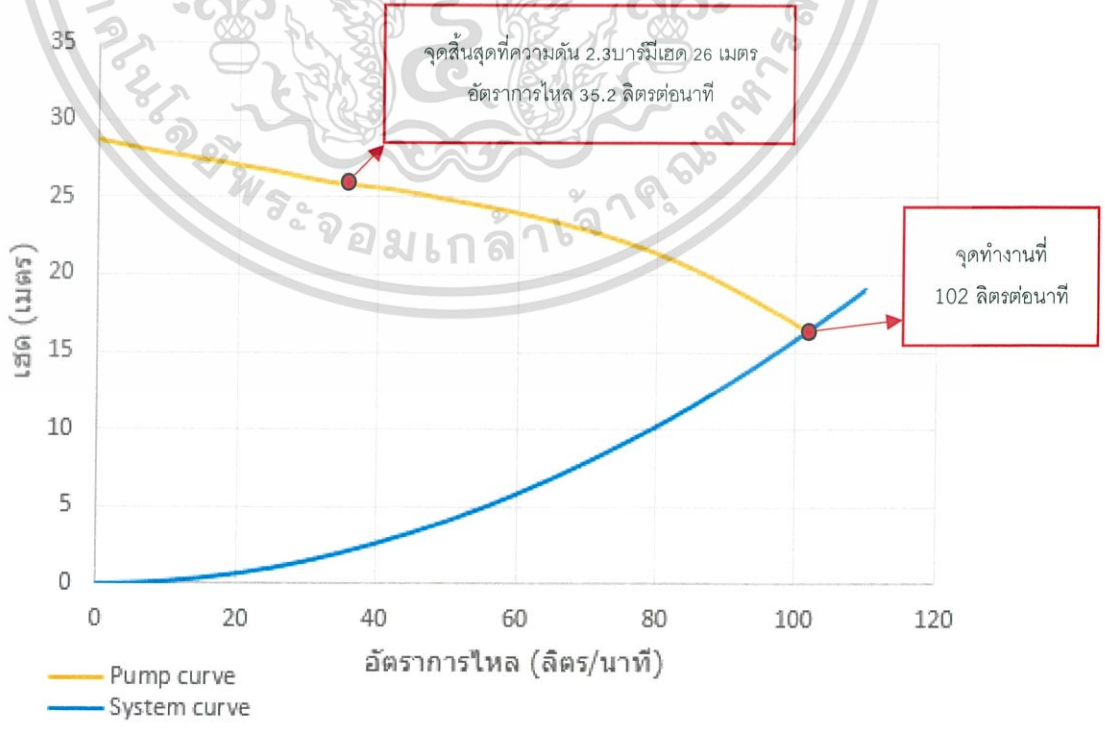
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดตัดของกราฟทั้งสองเส้นจะเป็นจุดทำงานของระบบ ซึ่งก็คือที่อัตราการไหล 112 ลิตรต่อนาที ซึ่งปั๊มตัวนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้งานจริง เนื่องจากที่ห้องปฏิบัติการนี้มีปั๊มหอยโข่งยี่ห้อ Grundfos รุ่น cme 5-3 a-r-a-e-avbe ที่ไม่ได้ใช้งานอยู่ ซึ่งมีกราฟสมรรถนะของปั๊มดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟสมรรถนะของปั๊ม Grundfos รุ่น cme 5-3 a-r-a-e-avbe

จะเห็นว่าที่ตำแหน่งเฮด 26 เมตรปั๊มน้ำมีอัตราการไหล 35.2 ลิตรต่อนาที ซึ่งเพียงพอต่อระบบ และเมื่อนำกราฟสมรรถนะของปั๊ม (Pump curve) มาเขียนร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของระบบกรองน้ำ (System curve) จะได้ดังรูป 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหลของปั๊มน้ำ Grundfos รุ่น cme 5-3 a-r-a-e-avbe และระบบกรองน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดตัดของกราฟทั้งสองเส้นจะเป็นจุดทำงานของระบบ ซึ่งก็คือที่อัตราการไหล 102 ลิตรต่อวินาทีซึ่งอัตราการไหลนี้เป็นเพียงอัตราการไหลเริ่มต้น เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการไหลจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการอุดตันของไส้กรอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำปั้มน้ำตัวนี้มาใช้งานกับระบบกรองน้ำได้ เนื่องจากมีอัตราการไหลที่สูงและเฮดเพียงพอต่อระบบ

4.5 การลงทุนในการสร้างระบบกรองน้ำ

ในการลงทุนสร้างระบบกรองน้ำ จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์และท่อ PVC, ไส้กรองหยาบที่ใช้เป็นพรีฟิลเตอร์, ไส้กรองละเอียดหรือไมโครฟิลเตอร์และปั้มน้ำซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบกรองน้ำ

อุปกรณ์	จำนวน (ชิ้น)	ราคาต่อชิ้น (บาท)	รวม (บาท)
ท่อ PVC ความยาว 4 เมตร	2	53.00	106.00
ข้อต่อยูเนียนสวมท่อ PVC ขนาด 3/4 นิ้ว	2	50.00	100.00
ข้อต่อตรง ขนาด 3/4 นิ้ว	2	4.00	8.00
ข้อต่อสามทาง ขนาด 3/4 นิ้ว	4	7.00	28.00
ข้อต่อตรงเกลียวใน ขนาด 3/4 นิ้ว	1	5.00	5.00
ปลั๊กอุดเกลียวนอก ขนาด 3/4 นิ้ว	1	2.00	2.00
ข้องอ 90 องศา ขนาด 3/4 นิ้ว	8	5.00	40.00
ข้อต่อตรงลดขนาด 1 นิ้ว × 3/4 นิ้ว	2	6.00	12.00
ข้อต่อตรงเกลียวใน ขนาด 1 นิ้ว	2	8.00	16.00
เกทวาล์ว ขนาด 1 นิ้ว	1	330.00	330.00
โรตารีมิเตอร์ ขนาด 1 นิ้ว	1	800.00	800.00
บอลวาล์วสวม ขนาด 3/4 นิ้ว	6	40.00	240.00
ข้อต่อสามทางเกลียวใน ขนาด 3/4 นิ้ว	4	13.00	52.00
เกจวัดความดัน	4	150.00	600.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อต่อตรงเกลียวนอก ขนาด 3/4 นิ้ว	8	4.00	32.00
ไส้กรองหยاب ขนาด 100 ไมครอน	2	450.00	900
ไส้กรองไมโครฟิลเตอร์ขนาด 1 ไมครอน	2	70.00	140.00
กระบอกใส่ไส้กรองน้ำ	4	370.00	1,480.00
ปั้มน้ำ Mitsubishi รุ่น WCH-755S	1	4,300.00	4,300.00
รวมทั้งหมด			9,891.00

4.6 การคำนวณหาจำนวนฟิลเตอร์ที่เพียงพอต่อระบบ

การคำนวณนี้เราได้นำผลการทดลองจากชุดทดลองเบื้องต้น ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 6 มาใช้คำนวณเลือกจำนวนฟิลเตอร์ที่เหมาะสมต่อระบบกรองน้ำ ดังนั้น จากผลการทดลองของไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

ตารางที่ 4.8 ตารางอัตราการไหลของไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

เวลา (นาที)	อัตราการไหล(ลิตร/นาที)	อัตราการไหลเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลา
	1 ไมครอน	
0	30	ช่วง 5 นาทีแรก $\frac{30+25}{2} = 27.5$ ลิตร/นาที
5	25	ช่วงนาทีที่ 5-10 $\frac{25+18}{2} = 21.5$ ลิตร/นาที
10	18	ช่วงนาทีที่ 10-15 $\frac{18+17.5}{2} = 17.7$ ลิตร/นาที
15	17.5	ช่วงนาทีที่ 15-20 $\frac{17.5+14.2}{2} = 15.8$ ลิตร/นาที
20	14.2	ช่วงนาทีที่ 20-25 $\frac{14.2+12.7}{2} = 13.4$ ลิตร/นาที
25	12.7	

ปริมาณน้ำที่กรองได้ในแต่ละช่วงเวลา

ช่วง 5 นาทีแรก $27.5 \times 5 = 137.5$ ลิตร

ช่วงนาทีที่ 5-10 $21.5 \times 5 = 107.5$ ลิตร

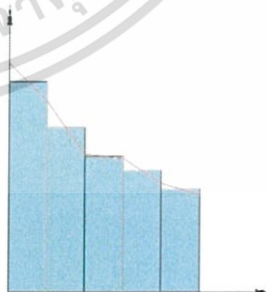
ช่วงนาทีที่ 10-15 $17.75 \times 5 = 88.75$ ลิตร

ช่วงนาทีที่ 15-20 $15.85 \times 5 = 79.25$ ลิตร

ช่วงนาทีที่ 20-25 $13.45 \times 5 = 67.25$ ลิตร

ปริมาณน้ำที่กรองได้ทั้งหมด เท่ากับ $137.5+107.5+88.75+79.25+67.25=516.25$ ลิตร

การหาพื้นที่ใต้กราฟ ด้วยการเฉลี่ยอัตราการไหลแต่ละช่วง แสดงให้เห็นดังรูป 4.19



รูปที่ 4.19 การหาพื้นที่ใต้กราฟแบบแบ่งช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น อัตราการไหลเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน เป็นเวลา 25 นาที จะเท่ากับ

$$\frac{516.25}{25} = 20.65 \text{ ลิตรต่อนาที}$$

หมายความว่า ในระยะเวลาทำงาน 25 นาที ถ้าเราอยากได้อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที ต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน ต่อขนานกัน $\frac{35}{20.65} = 1.69$ ชั้น เพราะฉะนั้น อย่างน้อยเราต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน 2 ชั้น

ทางผู้วิจัยต้องการให้ระยะเวลาการทำงานเป็น 1 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาเฉลี่ยการทำงานเครื่องเตาเผา เราจะต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอนจำนวนเท่าไร คำนวณได้ตามสมการที่ 4-6

$$\frac{\text{อัตราการไหลเฉลี่ยที่ต้องการ}}{\text{อัตราการไหลเฉลี่ยที่ทำได้จริง}} \times \frac{\text{ระยะเวลาการทำงานที่ต้องการ}}{\text{ระยะเวลาทำงานที่ทำได้จริง}} = \text{จำนวนชุด} \quad (4-6)$$

$$\frac{35}{20.65} \times \frac{105}{25} = 7.12 \text{ ชุด}$$

เพราะฉะนั้น อย่างน้อยเราต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน 8 ชั้น เพื่อกรองน้ำที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที

เนื่องจากพื้นที่ในการทำงานไม่เพียงพอที่จะต่อขนานกันถึง 8 ชุด ทางผู้วิจัยจึงหาทางที่จะเพิ่มระยะเวลาการทำงานของชุดฟิลเตอร์ให้ได้มากที่สุด โดยทำการศึกษาว่าถ้าหากเราใช้ไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรูใหญ่ขึ้นเป็น 10 ไมครอน จะสามารถยืดระยะเวลาการใช้งานได้นานขึ้น และลดจำนวนชุดกรองที่ต้องต่อขนานได้ไหม

จากผลการทดลองของไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน

ตารางที่ 4.9 ตารางอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่กรองได้ของไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน

เวลา (นาที่)	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลเฉลี่ยแต่ละช่วง (ลิตรต่อนาที)	ปริมาณน้ำแต่ละช่วง(ลิตร)
0	30	30	150
5	30	29.5	147.5
10	29	28.5	142.5
15	28	27	135
20	26	24.5	122.5
25	23	21.5	107.5
30	20	19.1	95.5
35	18.2	17.6	88
40	17	16.05	80.25
45	15.1	14.75	73.75
50	14.4	13.25	66.25
55	12.1		
	รวม		1208.75

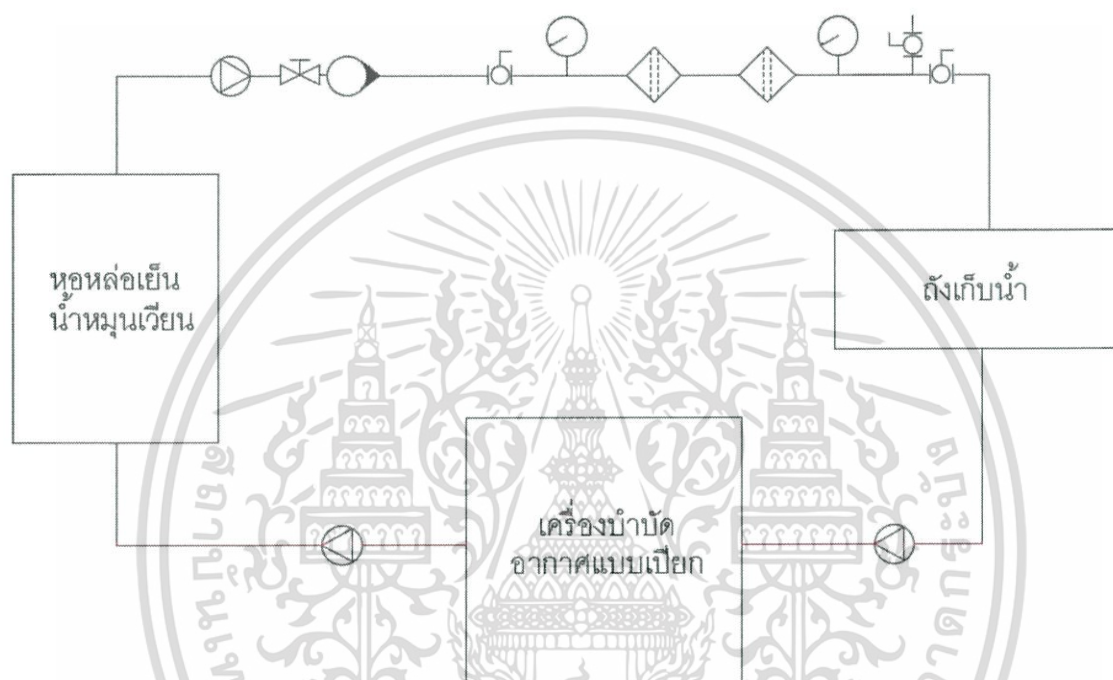
ดังนั้น อัตราการไหลเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน เป็นเวลา 25 นาที จะเท่ากับ $\frac{1208.75}{55} = 21.98$ ลิตรต่อนาที หมายความว่า ในระยะเวลาทำงาน 55 นาที ถ้าเราอยากได้อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที ต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน ต่อขนานกัน $\frac{35}{21.98} = 1.59$ ชั้น เพราะฉะนั้น อย่างน้อย เราต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน 2 ชั้น

หากเราต้องการใช้กรองน้ำ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที เราจะต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน จำนวนเท่าไร หาได้ตามสมการที่ 4-6

$$\frac{105}{55} \times \frac{35}{21.98} = 3.04 \text{ ชุด}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น อย่างน้อยเราต้องใช้ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน 4 ชุด เพื่อกรองน้ำที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที สรุปได้ว่าการใช้ไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรูใหญ่ขึ้นสามารถลดจำนวนชุดได้ จึงทำให้ผู้วิจัยสงสัยว่าเราจะสามารถเพิ่มระยะเวลาได้นานขึ้นไหม หากนำฟิลเตอร์ 100 ไมครอน มาต่ออนุกรมกับ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน ดังรูปที่ 4.20 เพื่อลดการต่อขนานหลายชั้น



รูปที่ 4.20 ชุดทดลองต่อฟิลเตอร์ 100 ไมครอนอนุกรม กับไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

เนื่องจาก จำนวนไมโครฟิลเตอร์ขนาด 1 ไมครอน ที่คำนวณได้ 8 ชั้นนั้น ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก และต้นทุนสูง ผู้วิจัยจึงหาวิธีการเพิ่มอัตราการไหล โดยใช้ฟิลเตอร์ขนาด 100 ไมครอน มากรองเข้าขนาดใหญ่ที่เราเรียกว่า การกรองหยาบ จากนั้นซีเถ้าที่เหลืออยู่ จะถูกกรองโดยไมโครฟิลเตอร์ขนาด 1 ไมครอน

จากผลการทดลองของชุดฟิลเตอร์ ที่ประกอบไปด้วย ฟิลเตอร์ขนาด 100 ไมครอน และไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

ตารางที่ 4.10 ตารางอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่กรองได้ของชุดฟิลเตอร์

เวลา (นาที)	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)	อัตราการไหลเฉลี่ยแต่ละช่วง (ลิตรต่อนาที)	ปริมาณน้ำแต่ละช่วง(ลิตร)
0	61	60.5	181.5
3	60	60	180
6	60	58	174
9	56	54.5	163.5
12	53	50.5	151.5
15	48	45.5	136.5
18	43	42	126
21	41	40.5	121.5
24	40	39.25	117.75
27	38.5	38.25	114.75
30	38	37.5	112.5
33	37	36.75	110.25
36	36.5	36.25	108.75
39	36	35.5	106.5
42	35	34.5	103.5
45	34		

ดังนั้น อัตราการไหลเฉลี่ยที่ได้จากการชุดฟิลเตอร์ ที่ประกอบไปด้วย ฟิลเตอร์ 100 ไมครอน และ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน เป็นเวลา 45 นาที จะเท่ากับ

$\frac{2008.5}{45} = 44.63$ ลิตรต่อนาที หมายความว่า ในระยะเวลาทำงาน 45 นาที ถ้าเราอยากได้อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที ต้องใช้ชุดฟิลเตอร์ 100 ไมครอน อนุกรมกับ 1 ไมครอน ต่อขนานกัน $\frac{35}{44.63} = 0.784$ ชุด เพราะฉะนั้น อย่างน้อยเราต้องใช้ชุดฟิลเตอร์ 1 ชุด

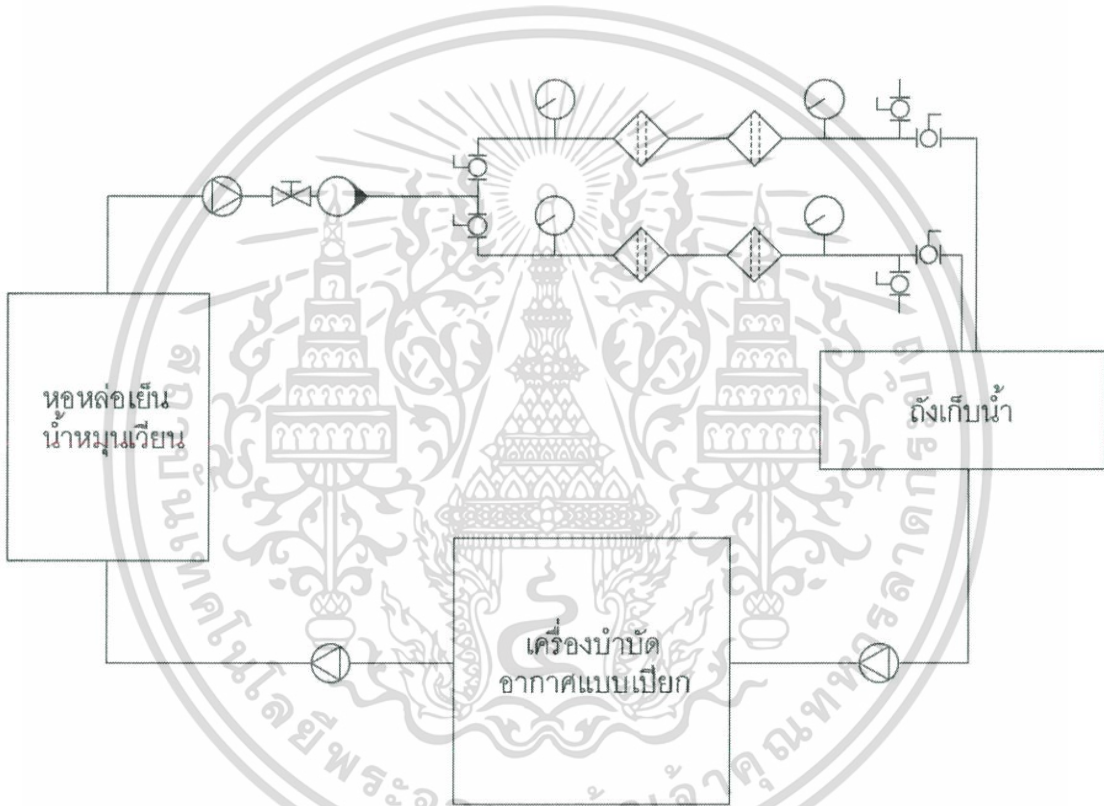
ทางผู้วิจัยต้องการให้ระยะเวลาการทำงานเป็น 1 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาเฉลี่ยการทำงานเครื่องเตาเผา เราต้องใช้ชุดฟิลเตอร์ single line จำนวนกี่ชุด คำนวณได้จากสมการที่ 4-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{105 \text{ นาที}}{45 \text{ นาที}} \times \frac{35 \text{ ลิตรต่อนาที}}{44.63 \text{ ลิตรต่อนาที}} = 1.83 \text{ ชุด}$$

เพราะฉะนั้น เราต้องใช้ชุดฟิลเตอร์ single line อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด เพื่อกรองน้ำที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที

เราจึงทำการออกแบบให้มีชุดฟิลเตอร์ single line 2 ชุด ติดตั้งแบบขนานกัน เรียกว่า parallel line และทำการวาดแผนภาพระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย ป้อนน้ำ, เกจवालว, โรตاميเตอร์, บอลวาลว 6 ตัว, เกจวัดความดัน 4 ตัว, ฟิลเตอร์ขนาดรู 100 ไมครอน 2 ตัว และ ไมโครฟิลเตอร์ขนาดรู 1 ไมครอน 2 ตัว ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แผนภาพการติดตั้งแบบขนาน

จากการคำนวณ เราสามารถคำนวณย้อนกลับได้ดังนี้ หากเราติดตั้ง 2 ชุด จะได้ระยะเวลาใช้งานเท่ากับเท่าไร ได้โดยการจัดรูปสมการ 4-6 ใหม่ จะได้เป็นสมการ 4-7

$$\text{ระยะเวลาทำงานที่ทำได้} = \frac{\text{อัตราการไหลเฉลี่ยที่ทำได้จริง} \times \text{ระยะเวลาการทำงานของชุดฟิลเตอร์จริง} \times \text{จำนวนชุด}}{\text{อัตราการไหลเฉลี่ยที่ต้องการ}}$$

(4-7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ระยะเวลาทำงานที่ทำได้} = \frac{44.63 \times 45 \times 2}{35} = 114 \text{ นาที หรือเท่ากับ } 1 \text{ ชั่วโมง } 54 \text{ นาที}$$

ดังนั้นหากเราติดตั้งชุดกรองที่ประกอบด้วยฟิลเตอร์ 100 ไมครอนและไมโครฟิลเตอร์ 100 ไมครอนจำนวน 2 ชุดจะสามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมง 54 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องมือวัดต่างๆ และวิธีการเก็บผลการทดลอง โดยแบ่งเป็นสองกรณี คือก่อนปรับปรุงระบบ และหลังการปรับปรุงระบบ โดยการเพิ่มพรีฟิลเตอร์เพื่อกรองหยาก และการเพิ่มพื้นที่การกรองโดยการเพิ่มพรีฟิลเตอร์และไมโครฟิลเตอร์อีกหนึ่งชุดด้วยการต่อแบบขนาน ไปยังส่วนของการบำบัดน้ำหมุนเวียน

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1.1 ระบบกรองน้ำก่อนพัฒนาและปรับปรุง

ระบบกรองน้ำก่อนพัฒนา ประกอบไปด้วย

1. ไมโครฟิลเตอร์ (Microfilter)
2. ปั๊มน้ำ (Water Pump)

5.1.1.1 ไมโครฟิลเตอร์

ไมโครฟิลเตอร์ที่เราเลือกใช้นั้น มีขนาดรู 10, 5 และ 1 ไมครอน ดังรูปที่ 5.1 วัสดุทำจาก Polypropylene มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยมีความยาว 20 นิ้ว โดยการทำงานของฟิลเตอร์นี้คือ น้ำสกปรกจะไหลเข้ามาในเคส และอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูของไมโครฟิลเตอร์จะสามารถผ่านฟิลเตอร์จากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน และไหลไปยังทางออกของเคส อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูของฟิลเตอร์จะติดอยู่ที่ด้านนอกของไมโครฟิลเตอร์ และสะสมเป็นชั้นคัดก่อดังกล่าว



รูปที่ 5.1 ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10, 5 และ 1 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2 ปั้มน้ำ

ปั้มน้ำที่เราเลือกใช้ในระบบกรองน้ำซึ่งเป็นชุดทดลองก่อนการพัฒนาเป็นระบบ เป็นปั้มน้ำ Mitsubishi WP-105Q5 ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งมีระยะดูด 8 เมตร ซึ่งมีระยะส่ง 12 เมตร และสามารถทำอัตราการไหลสูงสุดได้ที่ 38 ลิตรต่อนาที และขนาดท่อเข้า-ออก อยู่ที่ $\frac{3}{4}$ นิ้ว



รูปที่ 5.2 ปั้มน้ำ Mitsubishi WP-105Q5

5.1.1.3 ชุดทดลอง

ชุดทดลองที่ทางผู้วิจัยทำขึ้น ดังรูปที่ 5.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการกรองน้ำ และเก็บผลมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาต่อไป



รูปที่ 5.3 ชุดทดลองก่อนการปรับปรุงและพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ระบบกรองน้ำหลังพัฒนาและปรับปรุง

ระบบกรองน้ำหลังพัฒนา ประกอบไปด้วย

1. พรีฟิลเตอร์ (Pre-filter)
2. ไมโครฟิลเตอร์ (Microfilter)
3. ปั๊มน้ำ (Water Pump)

5.1.2.1 พรีฟิลเตอร์

พรีฟิลเตอร์นั้น จะเป็นฟิลเตอร์ที่ทำหน้าที่กรองหยาบ ซึ่งหมายถึงกรองอนุภาคขนาดใหญ่ก่อน ที่จะนำน้ำหมุนเวียนที่ได้จากการกรองหยาบไปทำการกรองต่อในไมโครฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ที่มีความละเอียดสูง ประโยชน์ของพรีฟิลเตอร์คือ สามารถที่จะคัดกรองอนุภาคขนาดใหญ่ เพื่อไม่ให้ไปอุดตันที่ตัวไมโครฟิลเตอร์ โดยพรีฟิลเตอร์ที่เราเลือกใช้ คือ ไส้กรองแบบเชือกมีขนาดรูอยู่ที่ 100 ไมครอน

รูปที่ 5.4 พรีฟิลเตอร์ ขนาดรู 100 ไมครอน

5.1.2.2 ไมโครฟิลเตอร์

ไมโครฟิลเตอร์ที่ทางผู้วิจัยเลือกใช้นั้น จะเป็นฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 1 ไมครอน ดังรูปที่ 5.5 เพื่อที่จะให้น้ำหมุนเวียนที่ผ่านการกรองมานั้น เหลือซีเถ้าเพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เนื่องจากผลของ size distribution ที่มี 10.84% ของซีเถ้าที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน



รูปที่ 5.5 ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน

5.1.2.3 ปั้มน้ำ

ปั้มน้ำของระบบกรองน้ำที่พัฒนาและปรับปรุงแล้ว เราเลือกปั้มของ Grundfos CME5-3_A-R-A-E-AVB ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นปั้มหอยโข่ง ที่ให้ระยะส่งสูงสุดถึง 27.7 เมตร และ อัตราการไหลที่ 78.33 ลิตรต่อ นาที



รูปที่ 5.6 ปั้มน้ำ Grundfos CME5-3_A-R-A-E-AVB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.4 ระบบกรองน้ำหลังพัฒนาและปรับปรุง

ระบบกรองน้ำที่ทางผู้วิจัยทำขึ้น ดังรูปที่ 5.7 ใช้ในการทดสอบใช้งานจริง



รูปที่ 5.7 ระบบกรองน้ำหลังการปรับปรุงและพัฒนาแล้ว

5.1.3 อุปกรณ์เครื่องมือวัด

5.1.3.1 เครื่องมือวัดความดัน

เครื่องมือวัดความดันที่ผู้วิจัยเลือกใช้ คือ เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ระบบ analog ดังรูปที่ 5.8 ข้อดีคือ ราคาถูกและไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้งาน เกจวัดความดัน ที่มีย่านการวัดตั้งแต่ 0-4 kg/cm^2 ซึ่งอยู่ในย่านที่ทางผู้วิจัยต้องการ



รูปที่ 5.8 เกจวัดความดัน 4 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

เครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ผู้วิจัยเลือกใช้ คือ โรตاميเตอร์ (Rotameter) ดังรูปที่ 5.9 ข้อดีคือสามารถติดตั้งเข้ากับท่อ PVC ได้เลย เป็นส่วนหนึ่งของระบบ และมีย่านการวัดตั้งแต่ 4-90 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นย่านที่ทางผู้วิจัยต้องการ และจากที่ได้ทำการสอบเทียบมานั้น จะพบว่าโรตاميเตอร์มีความแม่นยำสูงในย่าน 4-90 ลิตรต่อนาที เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบของผู้วิจัย



รูปที่ 5.9 โรตاميเตอร์ Flowmeter Z-6016

5.2 การทดลอง

ในส่วนของการทดลองนั้น ผู้วิจัยจะทำการเก็บผลต่างๆ โดยจะแบ่งเป็นสองกรณี คือ การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมกรองหรือชุดทดลองก่อนการปรับปรุง และการทดลองชุดกรองน้ำที่ปรับปรุงและพัฒนาแล้ว โดยการทดลองนี้ จะปฏิบัติการโดยการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบผงที่ให้พลังงานความร้อนสูงสุด ในช่วง 200-500 กิโลวัตต์

5.2.1 วิธีการทดลองเก็บผลความดันลดของน้ำหมุนเวียนที่ผ่านตัวกรอง

1. ทำการติดตั้งเกจวัดความดัน ไปที่ทางเข้าของไส้กรอง และที่ทางออกของไส้กรอง
2. ทำการล่อน้ำบ่มน้ำและตรวจสอบว่าน้ำไหลในระบบอย่างสมบูรณ์แล้วจึงเริ่มทดลอง
3. ทำการจดบันทึกค่าความดันทั้งทางเข้าและทางออก ทุกๆสามนาที ขณะทำการทดลอง โดยจะเริ่มทำการจดบันทึกตั้งแต่เตาให้ความร้อนถึง 200 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมีความเสถียรแล้ว จนกระทั่งอัตราการไหลของระบบกรองน้ำน้อยกว่า 35 ลิตรต่อนาที หรือมีเหตุขัดข้อง หรือตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 วิธีการทดลองเก็บผลอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนที่ผ่านตัวกรอง

1. ทำการติดตั้งโรตاميเตอร์ ไปที่ทางเข้าของไส้กรอง เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนจะเท่ากันในทุกตำแหน่งของท่อเดียวกัน
2. ทำการล่อน้ำป้อนน้ำและตรวจสอบว่าน้ำไหลในระบบอย่างสมบูรณ์แล้วจึงเริ่มทดลอง
3. ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนที่ไหลผ่านไส้กรอง ทุกๆสามนาที ขณะทำการทดลอง โดยจะเริ่มทำการจดบันทึกตั้งแต่เตาให้ความร้อนถึง 200 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมีความเสถียรแล้ว จนกระทั่งอัตราการไหลของระบบกรองน้ำน้อยกว่า 35 ลิตรต่อนาที หรือมีเหตุขัดข้อง หรือตามความเหมาะสม



บทที่ 6

ผลการทดลอง

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง เงื่อนไขการทดลองและวิธีการเก็บผลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สำหรับบทนี้จึงเป็นการนำเสนอในส่วนของผลการทดลอง และการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อสรุปของผลการวิจัยในครั้งนี้

6.1 ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรอง

ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความดันของน้ำในระบบผ่านอุปกรณ์ Pressure gauge โดยติดตั้งก่อนที่น้ำจะไหลเข้าไมโครฟิลเตอร์และหลังจากน้ำผ่านไมโครฟิลเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความดันลดที่เกิดขึ้น

6.1.1 ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรองก่อนปรับปรุงระบบ

ในระบบก่อนปรับปรุงนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรูในการกรองที่ต่างกัน คือ 10, 5, และ 1 ไมครอน ซึ่งค่าความดันของระบบก่อนปรับปรุงเป็นไปตามตารางและกราฟ ดังนี้

6.1.1.1 ค่าความดันลดของ ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน

ตารางที่ 6.1 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10 ไมครอน

เวลาที่ใช้(นาที)	ความแตกต่างความดัน(kg/cm ²)
	10 μ m
0	0.27
5	0.28
10	0.39
15	0.53
20	0.7
25	0.97
30	1.19
35	1.38
40	1.51
45	1.62
50	1.74
55	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1.2 ค่าความดันลดของ ไมโครฟิลเตอร์ 5 ไมครอน

ตารางที่ 6.2 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 5 ไมครอน

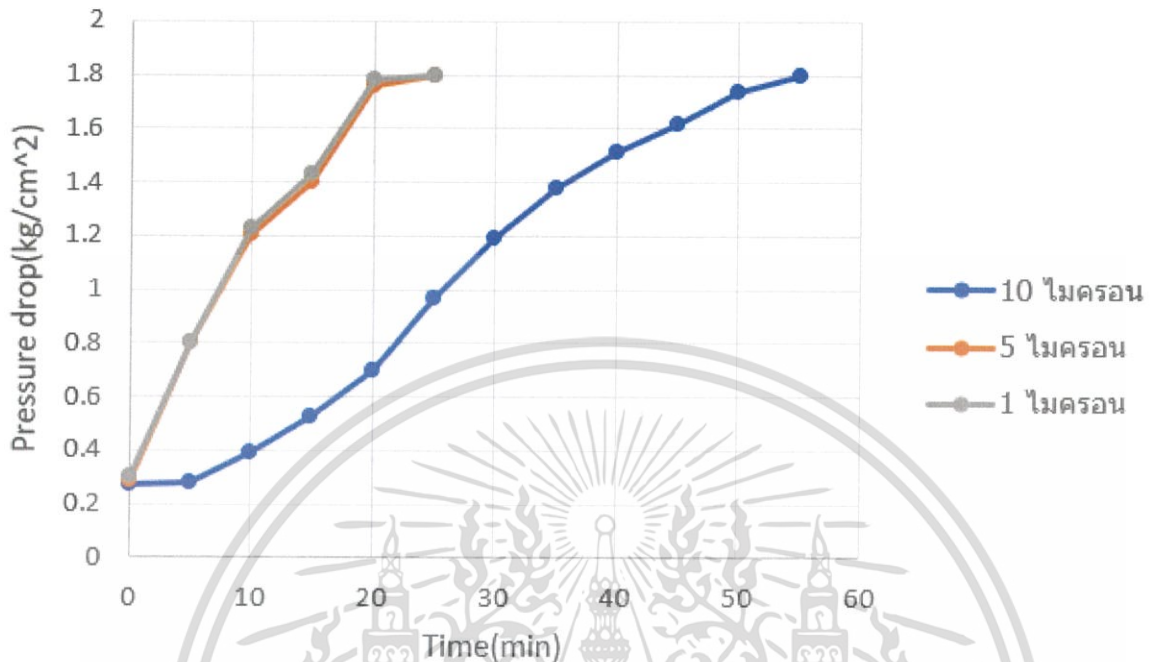
เวลาที่ใช้(นาที)	ความแตกต่างความดัน(kg/cm ²)
	5 μ m
0	0.29
5	0.8
10	1.21
15	1.4
20	1.76
25	1.8

6.1.1.3 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

ตารางที่ 6.3 ค่าความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน

เวลาที่ใช้(นาที)	ความแตกต่างความดัน(kg/cm ²)
	1 μ m
0	0.3
5	0.8
10	1.23
15	1.43
20	1.78
25	1.8

6.1.1.4 กราฟความดันลดของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1 ไมครอน ต่อเวลา



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและเวลาของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1

จากผลการทดลองที่แสดงเป็นตารางและกราฟ ดังรูปที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าความดันลดนั้นสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากซีลที่ไมสามารถผ่านฟิลเตอร์ได้มาเกาะอยู่ซึ่งเมื่อมีปริมาณมากขึ้นก็จะหนาขึ้นจนคลุมทั่วทั้งพื้นผิวของฟิลเตอร์ จนกระทั่งมีพฤติกรรมเหมือนฟิลเตอร์อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งการก่อตัวลักษณะนี้ทำให้เกิดสิ่งขวางกั้นมากขึ้น จึงทำให้ความดันสูงขึ้นตามความหนาของชั้นซีล การก่อตัวของซีลนี้ เราจะเรียกว่า การเกิด "เค้ก"

และจากกราฟยังสังเกตเห็นได้ว่าการที่ไมโครฟิลเตอร์ขนาด 5 และ 1 ไมครอน นั้นมีความดันลดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าหากเทียบกับการกรองด้วยไมโครฟิลเตอร์ขนาด 10 ไมครอน ทำให้เรารู้อย่าง กรองละเอียดจะยิ่งเกิดการอุดตันเร็วขึ้น

6.1.2 ผลการเก็บค่าความดันลดของน้ำที่ผ่านการกรองหลังปรับปรุงระบบ

ในระบบหลังการปรับปรุงและพัฒนานั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งพรีฟิลเตอร์ ไมโครฟิลเตอร์ สองชุด ด้วยการต่อแบบขนาน และติดตั้งปั๊มตัวใหม่ โดยจะทดลองสองกรณีคือ แบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกันซึ่งค่าความดันลดของระบบหลังปรับปรุงเป็นไปตามตารางและกราฟ ดังนี้

6.1.2.1 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด

ตารางที่ 6.4 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด

เวลา(min)	Pressure(kg/cm ²)
0	1.3
3	1.32
6	1.39
9	1.5
12	1.64
15	1.8
18	1.9
21	1.95
24	2
27	2.05
30	2.1
33	2.1
36	2.1
39	2.1
42	2.1
45	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2.2 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด

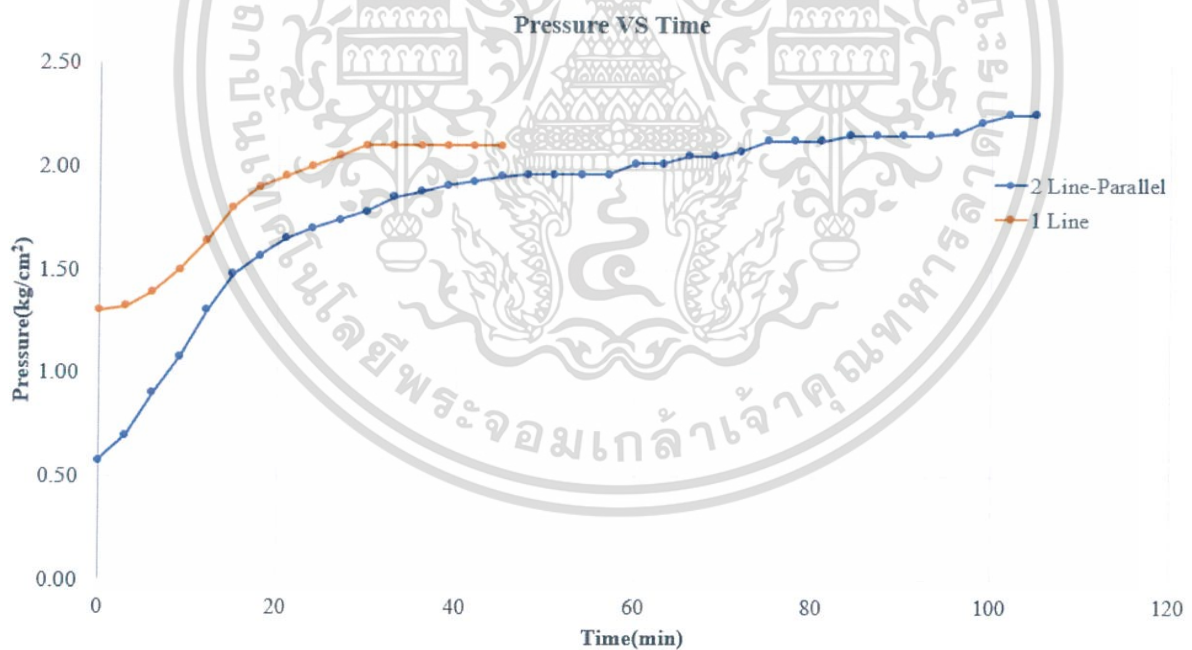
ตารางที่ 6.5 ค่าความดันลดของระบบกรองแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด

เวลา(min)	Pressure(kg/cm ²)
0	0.58
3	0.70
6	0.90
9	1.08
12	1.30
15	1.48
18	1.57
21	1.65
24	1.70
27	1.74
30	1.78
33	1.85
36	1.88
39	1.91
42	1.93
45	1.95
48	1.96
51	1.96
54	1.96
57	1.96
60	2.02
63	2.02
66	2.05
69	2.05
72	2.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

75	2.13
78	2.13
81	2.13
84	2.15
87	2.15
90	2.15
93	2.15
96	2.17
99	2.22
102	2.25
105	2.25

6.1.2.3 กราฟความดันลดของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและเวลาของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด

จากตารางและกราฟ ดังรูปที่ 6.2 จะสังเกตได้ว่าระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดจะใช้เวลานานกว่าแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด ที่ความดันลดจะเพิ่มจนถึงจุดที่ปั๊มสามารถรับไหวซึ่งเท่ากับ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

kg/cm² เนื่องจากระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการกรอง ทำให้ด้วยปริมาณอนุภาคที่ไหลเข้าระบบเท่าเดิม แต่มีพื้นที่ในการดักจับอนุภาคซีเฝ้ามากขึ้น จึงทำให้เกิดการอุดตันช้าลง

และจากการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการกรอง ด้วยการใส่ฟรีฟิลเตอร์ ระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดช่วยให้ความดันลดมีอัตราการเพิ่มที่ช้าลง ซึ่งหมายถึงเกิดการอุดตันช้าลง ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำงานมากขึ้น

6.2 ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรอง

ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในระบบผ่านอุปกรณ์ Rotameter โดยติดตั้งก่อนเข้าสู่ชุดกรอง เพื่ออ่านค่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้น

6.2.1 ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองก่อนปรับปรุงระบบ

ในระบบก่อนปรับปรุงนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรูในการกรองที่ต่างกัน คือ 10, 5, และ 1 ไมครอน ซึ่งค่าอัตราการไหลของระบบก่อนปรับปรุงเป็นไปตามตารางและกราฟดังนี้

6.2.1.1 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 10 ไมครอน

ตารางที่ 6.6 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 10 ไมครอน

เวลาที่ใช้(นาที)	อัตราการไหล(LPM)
	10 μ m
0	30
5	30
10	29
15	28
20	26
25	23
30	20
35	18.2
40	17
45	15.1
50	14.4
55	12.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.2 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 5 ไมครอน

ตารางที่ 6.7 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 5 ไมครอน

เวลาที่ใช้(นาที)	อัตราการไหล(LPM)
	5 μm
0	30
5	25
10	19
15	18.2
20	15.5
25	13.2

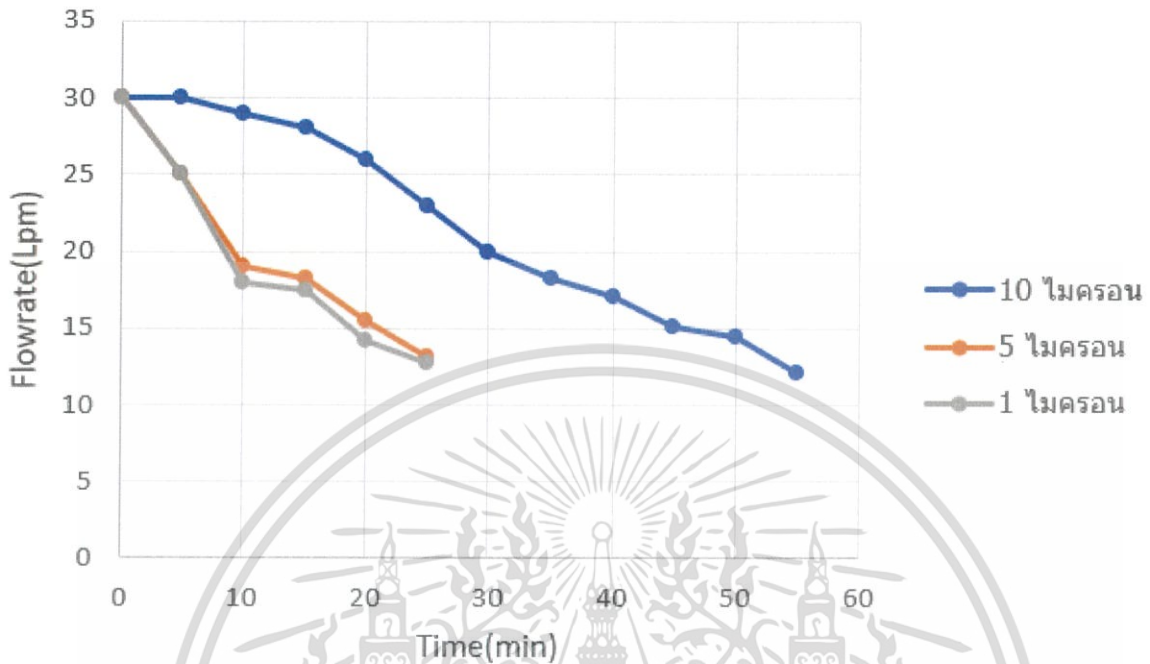
6.2.1.3 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 1 ไมครอน

ตารางที่ 6.8 ค่าอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ ขนาดรู 1 ไมครอน

เวลาที่ใช้(นาที)	อัตราการไหล(LPM)
	1 μm
0	30
5	25
10	18
15	17.5
20	14.2
25	12.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.4 กราฟอัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1 ไมครอน ต่อเวลา



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลและเวลาของไมโครฟิลเตอร์ 10, 5, และ 1

จากผลการทดลองที่แสดงเป็นตารางและกราฟ ดังรูปที่ 6.3 จะสังเกตได้ว่า อัตราการไหลนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 30 ลิตรต่อนาที ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเป็ยกตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งไม่สามารถอ่านค่าบนโรตاميเตอร์ได้อีก ซึ่งอัตราการไหลที่ลดลงนั้น เกิดจากการที่เมื่อนุภาคซีเถ้าไม่สามารถไหลผ่านตัวไมโครฟิลเตอร์ได้ จึงสะสมเป็นเค้ก และขัดขวางการไหลของน้ำ ดังนั้นเมื่อยังมีเค้กมากขึ้น อัตราการไหลก็จะลดลง

จากกราฟในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของ ไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 10 ไมครอนนั้น สามารถที่จะทำงานได้นานกว่า เนื่องจากเมื่อมีจำนวนอนุภาคที่สามารถผ่านตัวไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 10 ไมครอนมากกว่า 5 และ 1 ไมครอน จึงเกิดเค้กช้าลง และทำให้อุดตันช้ากว่า

6.2.2 ผลการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองหลังปรับปรุงระบบ

ในระบบหลังการปรับปรุงและพัฒนานั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งพีริฟิลเตอร์ ไมโครฟิลเตอร์ สองชุด ด้วยการต่อแบบขนาน และติดตั้งปั๊มตัวใหม่ โดยจะทดลองสองกรณีคือ แบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกัน ซึ่งค่าความดันลดของระบบหลังปรับปรุงเป็นไปตามตารางและกราฟ ดังนี้

6.2.2.1 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด

ตารางที่ 6.9 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด

เวลา(min)	Flowrate (LPM)
0	61
3	60
6	60
9	56
12	53
15	48
18	43
21	41
24	40
27	38.5
30	38
33	37
36	36.5
39	36
42	35
45	34

6.2.2.2 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกัน

ตารางที่ 6.10 อัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองทั้งสองชุดพร้อมกัน

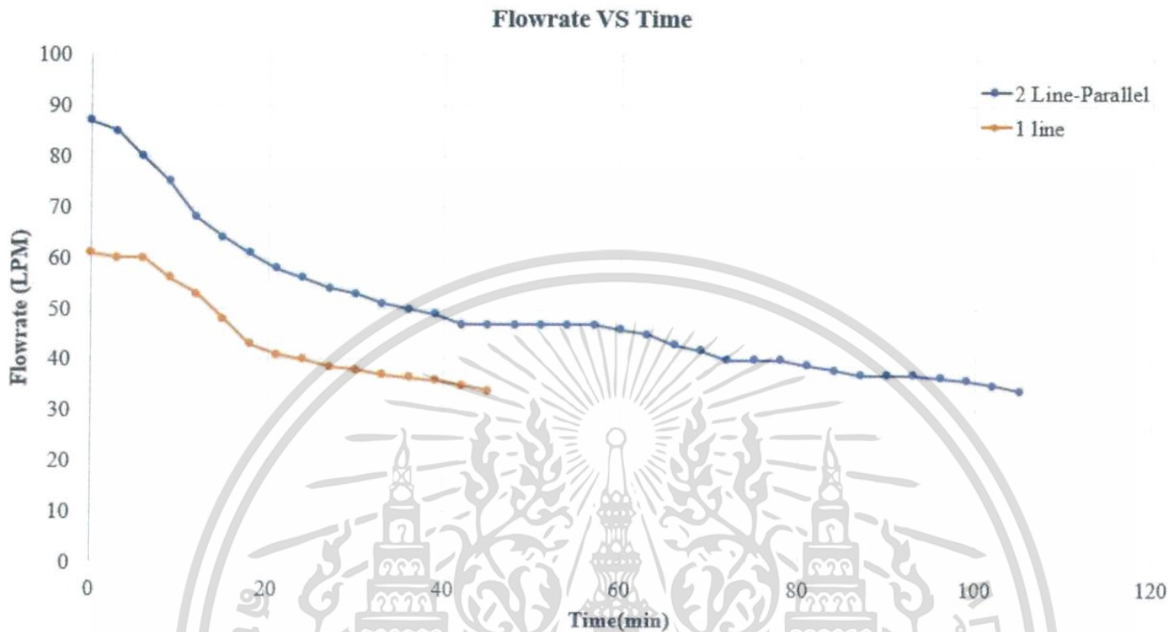
เวลา(min)	Flowrate (LPM)
0	87
3	85
6	80
9	75
12	68
15	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	61
21	58
24	56
27	54
30	53
33	51
36	50
39	49
42	47
45	47
48	47
51	47
54	47
57	47
60	46
63	45
66	43
69	42
72	40
75	40
78	40
81	39
84	38
87	37
90	37
93	37
96	36.5
99	36
102	35
105	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.3 กราฟอัตราการไหลของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด



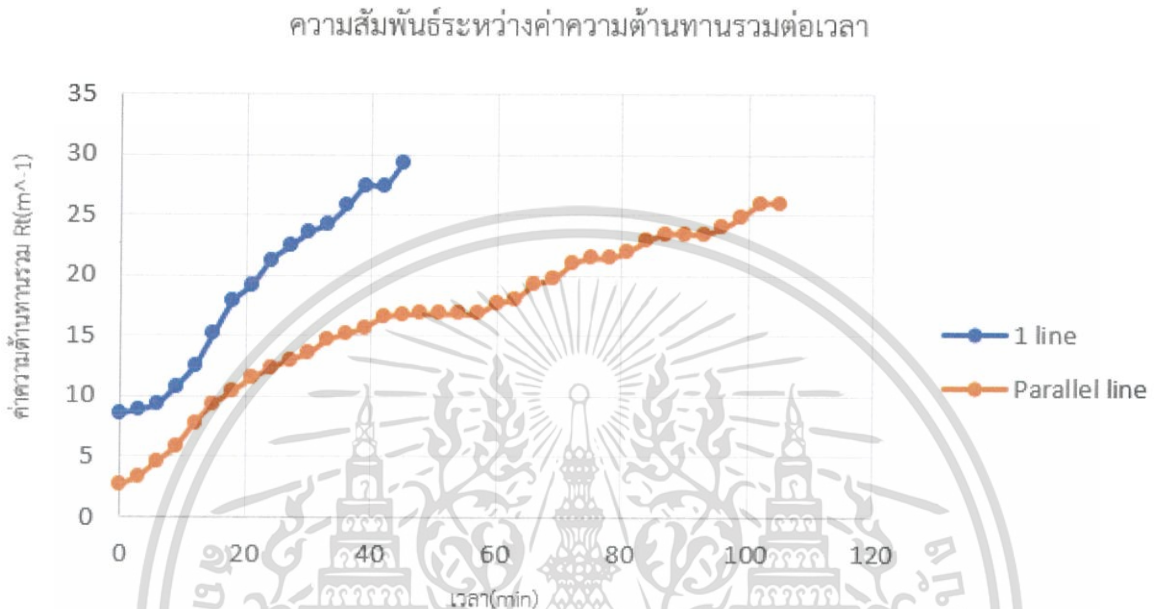
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลและเวลาของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดและใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด

จากผลการทดลองที่แสดงเป็นตารางและกราฟ ในรูปที่ 6.4 จะสังเกตเห็นได้ว่าอัตราการไหลเริ่มต้นในระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดนั้นอยู่ที่ 61 ลิตรต่อนาที เป็นผลมาจากปั๊มตัวใหม่ที่เรานำมาติดตั้ง ซึ่งเราต้องการเพียง 35 ลิตรต่อนาที ในการนำกลับไปใช้ในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก ฉะนั้นในระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุด จะสามารถใช้กรองน้ำได้เป็นเวลา 45 นาที ก่อนที่อัตราการไหลจะลดลงจนถึง 34 ลิตรต่อนาที และจะต้องทำการนำฟิลเตอร์ออกมาล้าง

ในการใช้ระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดนั้น อัตราการไหลเริ่มต้นจะอยู่ที่ 87 ลิตรต่อนาที และลดลงอย่างต่อเนื่อง ฉะนั้นในระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดจะสามารถใช้กรองน้ำได้เป็นเวลา 105 นาที ก่อนที่อัตราการไหลจะลดลงจนถึง 34 ลิตรต่อนาที และจะต้องทำการนำฟิลเตอร์ออกมาล้าง

6.3 ค่าความต้านทานรวมของชุดกรองน้ำ

จากหัวข้อที่ 3.8.1 ทางผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาคำนวณหาความต้านทานรวมโดยใช้สมการที่ 3-4 และเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานรวมต่อเวลาของชุดกรอง 1 line และ Parallel line

จากกราฟ จะเห็นว่าค่าความต้านทานของชุดกรองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดการอุดตันและขวางการผ่านของอนุภาคซีเมนต์และน้ำ โดยที่ค่าความต้านทานของชุดกรองของระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองหนึ่งชุดนั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่การกรองที่น้อยกว่าระบบกรองน้ำแบบใช้ชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

6.4 ผลการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนกรอง และหลังกรอง

ในส่วนของการเก็บตัวอย่างน้ำ ทางผู้วิจัยได้ทำการต่อสามทางแยกออกมา และบอวลวาล์วเพื่อเลือกทางออกของน้ำให้สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้

6.4.1 ตัวอย่างของน้ำก่อนการกรอง

น้ำก่อนผ่านระบบกรองจะเป็นน้ำที่เต็มไปด้วยอนุภาคซีเถ้ามากมาย ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 น้ำที่มีอนุภาคซีเถ้า และยังไม่ผ่านการกรอง

6.4.2 ตัวอย่างของน้ำหลังการกรอง

น้ำหลังจากที่ผ่านการกรองจะเป็นน้ำที่มีอนุภาคซีเถ้าขนาดต่ำกว่า 1 ไมครอน เท่านั้น ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 น้ำที่ผ่านระบบกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.3 ตัวอย่างของน้ำทั้งก่อนกรองและหลังกรองเปรียบเทียบกัน



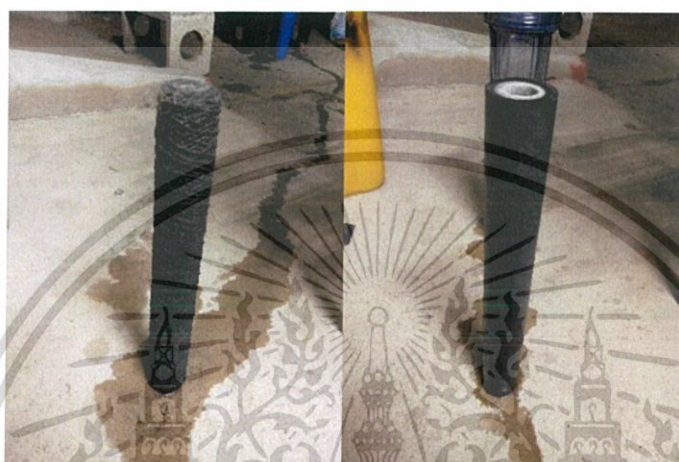
รูปที่ 6.8 น้ำที่กรองแล้วและยังไม่ผ่านการกรอง

จากผลการเก็บตัวอย่างน้ำ จะเห็นว่าระบบกรองสามารถที่จะกรองอนุภาคซีโอไลต์ออกจากน้ำหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากน้ำที่มีความโปร่งใส สามารถมองเห็นตะกอนได้ ในขณะที่ น้ำที่ยังไม่ผ่านการกรองนั้นมี ซีโอไลต์จำนวนมากจนทึบแสง ไม่สามารถมองเห็นตะกอนได้

6.5 ตัวอย่างไส้กรองก่อนทำความสะอาด และหลังทำความสะอาด

เนื่องจากไส้กรองที่ทางผู้วิจัยเลือกใช้สามารถที่จะนำมาทำความสะอาด และนำกลับมาใช้ได้ อีก โดยการฉีดน้ำล้างซี่เถ้าที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของไส้กรองออก

6.5.1 ไส้กรองก่อนทำความสะอาด



รูปที่ 6.9 ไส้กรองหยาบและไมโครฟิลเตอร์ ก่อนทำความสะอาด

6.5.2 ไส้กรองหลังทำความสะอาด



รูปที่ 6.10 ไส้กรองหยาบและไมโครฟิลเตอร์ หลังทำความสะอาด

ทางผู้วิจัยได้ทดลองจำนวนครั้งในการใช้ซ้ำ พบว่า ไส้กรองหยาบสามารถใช้ได้ 20 ครั้ง และไมโครฟิลเตอร์สามารถใช้ได้ 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 การคำนวณอื่นๆ

6.6.1 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ

จากหัวข้อที่ 4.6 เราได้คำนวณหาระยะเวลาการทำงานของชุดฟิลเตอร์จำนวนสองชุด ต่อขนานกัน ซึ่งคำนวณได้ 1 ชั่วโมง 54 นาที แต่จากผลการทดลองจริง ชุดฟิลเตอร์สองชุดสามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมง 45 นาที ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$\begin{aligned} \% \text{ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{|\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากผลการทดลอง}|}{\text{ค่าจากการคำนวณ}} \times 100 \\ &= \frac{|114 - 105|}{114} \times 100 = 7.89 \% \end{aligned}$$

เนื่องจากคำนวณในหัวข้อที่ 4.6 ผู้วิจัยได้ใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลในแต่ละช่วงโดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยช่วงละ 3 นาทีจำนวน 15 ช่วงมาคำนวณ จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

6.6.2 การคำนวณค่าน้ำที่ประหยัดได้ในแต่ละครั้ง

กำไรที่ได้จากโปรเจกต์นี้คือค่าน้ำประปาซึ่งคิดตามอัตราของการประปานครหลวงประเภทที่ 2 ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ค่าน้ำตามอัตราของการประปานครหลวงประเภทที่ 2

ประเภทที่ 1 ที่พักอาศัย Residence		ประเภทที่ 2 ธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ Commerce, Government Agency, State Enterprise and Industry	
ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร Volume (cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.	ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร Volume(cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.
0-30	8.50	0-10	9.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 90.00 บาท (Not less than 90.00 Baht)
31-40	10.03	11-20	10.70
41-50	10.35	21-30	10.95
51-60	10.68	31-40	13.21
61-70	11.00	41-50	13.54
71-80	11.33	51-60	13.86
81-90	12.50	61-80	14.19
91-100	12.82	81-100	14.51
101-120	13.15	101-120	14.84
121-160	13.47	121-160	15.16
161-200	13.80	161-200	15.49
มากกว่า 200 (over 200)	14.45	มากกว่า 200 (over 200)	15.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการใช้น้ำของมหาลัยเบื้องต้นนั้นเป็นดังตาราง 6.12

ตารางที่ 6.12 ค่าน้ำประปาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

ค่าน้ำประปาประมาณ 2561 (คณะวิศวกรรมศาสตร์)

หน่วยงาน	ต.ค.60		พ.ย.60		ธ.ค.60		ม.ค.61		
	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	
คณะวิศวกรรมศาสตร์	09176678	13,188	225,377.18	7,534	128,822.69	7,136	122,025.07	8,002	136,814.82
อาคารเรียนรวม	75706980	1,970	33,805.15	2,524	43,265.02	1,866	32,029.12	1,228	21,133.87
อาคาร ECC	67436972	732	12,556.58	801	15,271.85	929	15,920.79	657	11,275.79
		15,890	271,738.91	10,949	187,360.46	9,931	169,975.88	9,887	169,224.48

หน่วยงาน	ก.พ.61		มี.ค.61		เม.ย.61		พ.ค.61		
	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	
คณะวิศวกรรมศาสตร์	09176678	6,869	117,415.12	6,203	105,002.84	6,925	118,422.89	6,568	112,326.12
อาคารเรียนรวม	75706980	1,788	30,662.95	1,582	27,175.20	1,987	34,095.46	1,740	29,877.40
อาคาร ECC	67436972	837	14,349.88	733	12,573.66	1,149	19,677.77	913	15,647.55
		9,489	162,427.75	8,518	145,845.80	10,061	172,195.91	9,221	157,851.07

หน่วยงาน	มิ.ย.61		ก.ค.61		ส.ค.61		ก.ย.61		
	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	
สำนักงานอธิการบดี	09176678	6,557	112,136.27	5,461	93,421.66	6,490	110,994.70	7,839	134,031.24
อาคารเรียนรวม	75706980	824	14,127.68	400	13,740.83	2,754	47,183.68	3,278	57,849.85
อาคาร ECC	67436972	1,753	30,150.63	804	13,786.14	866	11,429.48	885	15,169.39
		9,137	166,416.68	6,665	120,960.43	9,910	169,617.26	12,102	207,050.48

เครื่องวัดค่าน้ำ 75706980 เริ่มแจ้งหนี้เดือนตุลาคม 2551 เป็นเดือนแรก

ทางผู้วิจัยจึงคิดค่าน้ำที่จะนำมาเป็นกำไร ลูกบาศก์เมตรละ 15.81 บาท(ค่าน้ำที่ใช้ต่อเดือนมากกว่า200หน่วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.13 แสดงการหาอัตราการไหล

2 Line-Parallel	
เวลา(min)	Flowrate(LPM)
0	87
3	85
6	80
9	75
12	68
15	64
18	61
21	58
24	56
27	54
30	53
33	51
36	50
39	49
42	47
45	47
48	47
51	47
54	47
57	47
60	46
63	45
66	43
69	42
72	40
75	40
78	40
81	39
84	38
87	37
90	37
93	37
96	36.5
99	36
102	35
105	35
รวม	1799.5
เฉลี่ย(LPM)	49.98611111

ในการคำนวณค่าวันที่ประหยัดได้แต่ละครั้งทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำในท่อตามระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วในการทำงานของระบบแต่ละครั้งจะสามารถกรองน้ำได้ $49.986 \times 105 = 5,248$ ลิตร หรือ 5.24845 ลูกบาศก์เมตร ในเวลาประมาณ 105 นาที จึงคิดเป็นค่าวันที่สามารถประหยัดได้ประมาณ 82.97 บาทต่อการทำงานในแต่ละครั้ง

6.6.3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนทางผู้วิจัยได้ใช้ค่าวันที่ประหยัดได้ 82.97 บาท มาเป็นกำไร และใช้ไส้กรองเป็นอุปกรณ์ที่ต้องเปลี่ยนตามอายุการใช้งานจึงได้คำนวณค่าใช้จ่ายของไส้กรองเป็นเงิน 73 บาทต่อรอบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไส้กรองเชือกชั้นละ 450 บาท 2 ชั้น เป็นจำนวนเงิน 900 บาท

ใช้งานได้ 20 รอบ จึงคิดเป็นเงิน 45 บาทต่อรอบ

ไส้กรองละเอียดชั้นละ 70 บาท 2 ชั้น เป็นจำนวนเงิน 140 บาท

ใช้งานได้ 6 รอบ จึงคิดเป็นเงิน 23.33 บาทต่อรอบ

รวมค่าใช้จ่ายของไส้กรองเป็นเงิน 68.33 บาทต่อรอบ

ซึ่งจากการคำนวณจะได้กำไรจากค่าน้ำที่ประหยัด หลังจากหักค่าใช้จ่ายของค่าไส้กรอง เป็นเงินประมาณ 14.64 บาทต่อรอบการทำงาน โดยกำหนดให้ห้องปฏิบัติการจะทำการทดลองเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นโดยเฉลี่ยเดือนละ 20 ครั้ง ซึ่งจะสามารถประหยัดเงินได้ 292.8 บาทต่อเดือน และคิดเป็นเงิน 3,513.6 บาทต่อปี เนื่องจากต้นทุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบกรองน้ำคิดเป็นเงิน 9,891 บาท ดังนั้นระบบกรองน้ำด้วยไมโครฟิลเตอร์จะใช้เวลา 2 ปี 10 เดือน ในการคืนทุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะของระบบกรองน้ำหมุนเวียนด้วยไมโครฟิลเตอร์ ให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษา

7.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและพัฒนาระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนของเตาเผาชีวมวลแบบฝุ่น โดยการดักจับขี้เถ้าที่ปะปนอยู่ในน้ำชะล้างที่ออกมาจากเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก ด้วยการใช้ไส้กรองที่มีความละเอียดสูง ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครฟิลเตอร์เพื่อทำการกรองน้ำหมุนเวียน เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมการกรอง ผู้วิจัยได้สร้างชุดทดลองขึ้นมา เพื่อเปรียบเทียบความดันตกคร่อมและอัตราการไหลของไมโครฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 10, 5, และ 1 ไมครอน จากผลของชุดทดลองเบื้องต้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้น และอัตราการไหลลดลง เนื่องจากขี้เถ้าเข้าไปติดพื้นผิวไส้กรอง และหนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนเกิดการอุดตัน และเมื่อนำค่าความดันตกคร่อมและอัตราการไหลมาคำนวณค่าความต้านทานรวมของชุดทดลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปก็มีค่ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีในบทที่ 3 นอกจากนี้ ทำให้ผู้วิจัยรู้ว่าการใช้ไมโครฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอต่อการใช้งานจริง เนื่องจากเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว และอัตราการไหลไม่เพียงพอ ต่อมา ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาบระบบกรองน้ำขึ้นมาใหม่ ด้วยการเพิ่มไส้กรองหยาดหรือฟรี-ฟิลเตอร์ที่มีขนาดรู 100 ไมครอน เพื่อดักจับขี้เถ้าที่มีขนาดใหญ่ก่อนจะนำไปกรองด้วยไมโครฟิลเตอร์ และช่วยลดการอุดตันของไมโครฟิลเตอร์ได้อีกด้วย เราได้เพิ่มพื้นที่การกรองด้วยการเพิ่มชุดกรองอีกหนึ่งชุดด้วยการต่อแบบขนาน ทำให้เพิ่มระยะเวลาในการกรองได้นานขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การใช้งานชุดสลับกันที่ละชุดสามารถกรองได้เป็นเวลา 45 นาที ซึ่งสามารถที่จะสลับไปใช้ชุดกรองอีกชุดหนึ่ง แล้วถอดชุดกรองที่อุดตันไปล้างทำความสะอาดแล้วนำมาใช้ต่อได้ ส่วนการใช้งานชุดกรองพร้อมกันทั้งสองชุด สามารถกรองได้เป็นเวลา 105 นาที หรือ 1 ชม. 45 นาที แต่เมื่อชุดกรองอุดตันต้องหยุดการทำงานของระบบกรอง แล้วจึงถอดไปทำความสะอาด จะเห็นได้ว่าการใช้งานสลับชุดกรองที่ละชุดมีข้อดีคือ สามารถที่จะใช้ได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดระบบกรอง แต่ข้อเสียคือ ต้องมีคนคอยถอดทำความสะอาดทุกๆ 45 นาที ส่วนการใช้งานแบบสองชุดพร้อมกันมีข้อดีคือ มีระยะเวลาการใช้งานที่นานโดยไม่ต้องถอดทำความสะอาดระหว่างการใช้งาน แต่ข้อเสียคือ เมื่อไส้กรองอุดตันจนอัตราการไหลต่ำกว่า 35 ลิตรต่อนาที ต้องหยุดการทำงานของระบบกรอง เพื่อถอดไส้กรองไปทำความสะอาด ดังนั้น การใช้งานทั้งสองชุดพร้อมกันเหมาะกับการใช้งานที่ไม่เกิน 1 ชม. 45 นาที หากนานกว่านั้น ควรเลือกใช้งานสลับชุดกรองที่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกหนึ่งปัจจัยที่ทางผู้วิจัยทำการวิเคราะห์คือความคุ้มค่าในการสร้างระบบกรองน้ำ ในการสร้างระบบกรองน้ำนั้นมีส่วนประกอบคือ ปิมน้ำ ใ้กรอง กระบอกใส่ใ้กรอง ท่อพีวีซี และอุปกรณ์วัดต่างๆ มีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบ 9,891 บาท จากที่ผู้วิจัยคำนวณสามารถประหยัดเงินได้ครั้งละ 14.64 บาท โดยกำหนดให้ห้องปฏิบัติการจะทำการทดลองเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นโดยเฉลี่ยเดือนละ 20 ครั้ง ซึ่งจะสามารถประหยัดเงินได้ 292.8 บาทต่อเดือน และคิดเป็นเงิน 3,513.6 บาทต่อปี ดังนั้นระบบกรองน้ำด้วยไมโครฟิลเตอร์จะคืนทุนในเวลา 2 ปี 10 เดือน โดยประมาณ

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในปัจจุบันระบบกรองน้ำยังต้องใช้คนในการเฝ้าดูแลระหว่างการทำงาน ดังนั้น ผู้วิจัยคิดว่าควรจะทำระบบสับเปลี่ยนชุดกรองโดยอัตโนมัติเมื่ออัตราการไหลต่ำกว่าที่กำหนดและส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังห้องควบคุมให้มาถอดใ้กรองไปทำความสะอาด
2. เพิ่มพื้นที่ในการกรอง ด้วยการเพิ่มชุดกรอง
3. ปรับปรุงใ้กรองหยาบหรือพีฟิลเตอร์ให้สามารถดักจับขี้เถ้าขนาดใหญ่ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถล้างทำความสะอาดได้ง่าย ใช้งานได้ยาวนาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.โสภา กลิ่นจันทร์ (2548). กระบวนการแยกสำหรับเทคโนโลยีชีวภาพ 1, กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] วัลลภ ภูผา, ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว และ อรุณ ชลิ่งสุทธิ (2552). รายงานการวิจัยเรื่องระบบบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (ศูนย์พระนครเหนือ).
- [3] อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์ (2539). รายงานการวิจัยเรื่องความคุ้มค่าของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับอาคารสูง โดยการกรองตรง หรือการดูดติดผิว หรือการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] บุญชัย วิจิตรเสถียร (2555). รายงานการวิจัยเรื่องการใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [5] มินาร์ตัน รักซ้อน, รัตนากร ยวงสวัสดิ์ (2546). รายงานการวิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องกรองชนิดแผ่นและกรอบ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] Siegfried Ripperger, Walter Gosele and Christian Alt, D.C. (1995). Filtration, 1. Fundamentals, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [7] ชันทอง สุนทรภา (2547). เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน, กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล
- [8] Bruce R. Munson. Fundamentals of Fluid Mechanics Sixth Edition (2009), John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [9] พงศธร ณ นคร, ภูวนันท์ เลิศอัษฎมงคล และ วันเฉลิม พีรพัฒน์ภูมิ (2560). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการหมุนเวียนน้ำและกำจัดความร้อนในเครื่องบำบัดไอเสียแบบเปียก, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้