

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

การนำไฮโดรไซโคลนมาทำการจัดเรียงแบบอนุกรมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยให้ดีขึ้นจากไฮโดรไซโคลนเพียงตัวเดียว โดยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมนี้มีทั้งการจัดเรียงแบบอนุกรมที่ช่องทางออกด้านล่าง และที่ช่องทางออกด้านบน ในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ช่องทางออกด้านล่าง จะทำเพื่อให้ได้ตะกอนชั้น ส่วนการจัดเรียงแบบอนุกรมที่ช่องทางออกด้านบน จะทำเพื่อให้ได้น้ำใส ในการผลิตน้ำประปานั้นมีความต้องการน้ำดิบที่สะอาด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ช่องทางออกด้านบนทั้งหมด

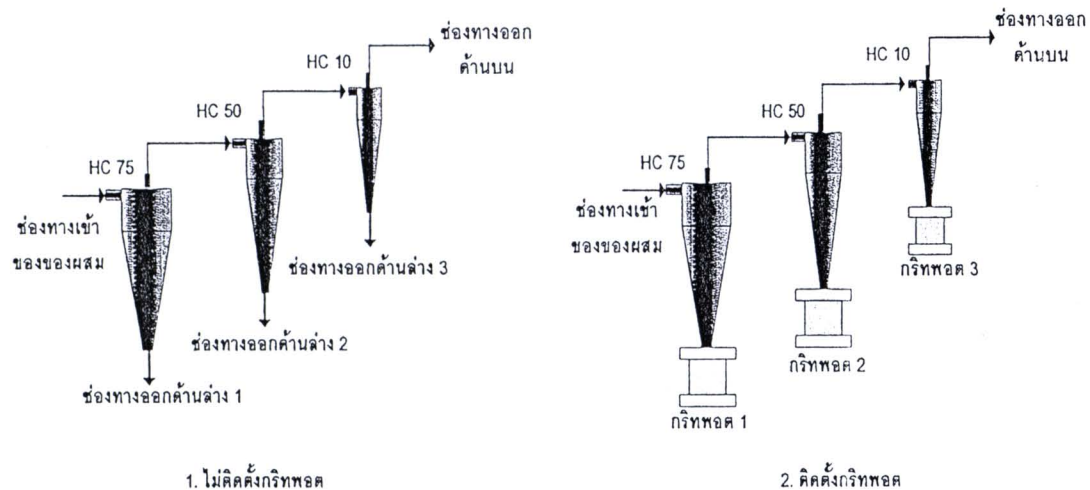
นอกจากนี้ได้ทำการทดลองโดยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอดและที่ติดตั้งกริพพอดที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอด

ในการจัดเรียงนั้นจะทำการเรียงจากไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดใหญ่ไปสู่ไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคละเอียดได้ดีกว่าไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ แต่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็กมีข้อจำกัดคือจะเกิดการอุดตันได้ง่ายกว่า ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันในไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก จึงทำการจัดเรียงโดยจ่ายน้ำตัวอย่างเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ก่อน แล้วจึงไปสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก โดยทำการจัดเรียงการอนุกรมไฮโดรไซโคลนตามลำดับ ดังนี้

1. ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ
2. ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ
3. ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในการจัดเรียงนี้ ผู้ทำการวิจัยจะเลือกเป็นสามทางเลือกดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของทั้งสามทางเลือกนี้

ตัวอย่างการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนที่ช่องทางออกด้านบน แสดงดังรูปที่ 3.1



HC คือ ไฮโดรไฮโคลอน

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการจัดเรียงแบบอนุกรมที่ช่องทางออกด้านบนของไฮโดรไฮโคลอน และไฮโดรไฮโคลอนที่ติดตั้งกริฟฟอด (กรณี 75 50 และ 10 มิลลิเมตร)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในโรงงานนำร่อง (Pilot plant) ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ไฮโดรไฮโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร รูปร่างและลักษณะแสดงดังตารางที่ 3.1
2. ไฮโดรไฮโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร รูปร่างและลักษณะแสดงดังตารางที่ 3.1
3. ไฮโดรไฮโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร รูปร่างและลักษณะแสดงดังตารางที่ 3.1
4. เครื่องสูบน้ำชนิด Screw rotary displacement pump ขนาด 5.5 กิโลวัตต์
5. ใบพัดกวนผสมน้ำชนิด Rushton turbine ขนาด 1.1 กิโลวัตต์
6. ถังเก็บพลาสติกปริมาตร 350 ลิตร
7. วาล์วสามทาง
8. วาล์วลดความดัน (Releasing valve)
9. เครื่องมือวัดความดัน (Pressure gauge)
10. เครื่องมืออัตราการไหลเข้า (Flow meter)

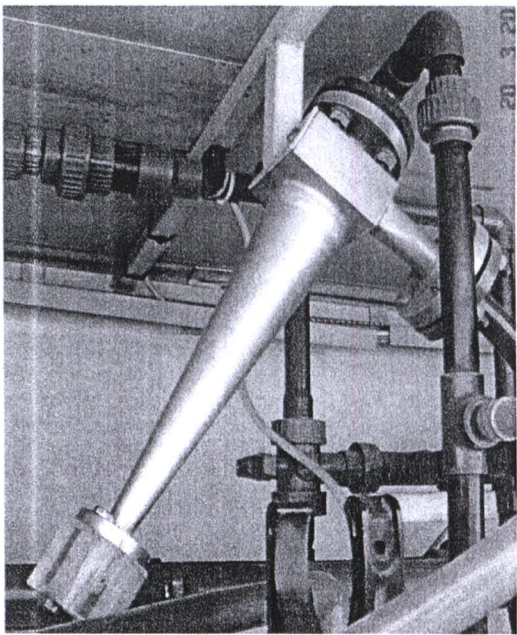
รูปร่างและลักษณะสมบัติต่างๆ ของไฮโดรไฮโคลอนที่ใช้ในงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 รูปร่างและลักษณะสมบัติต่างๆ ของไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในงานวิจัย

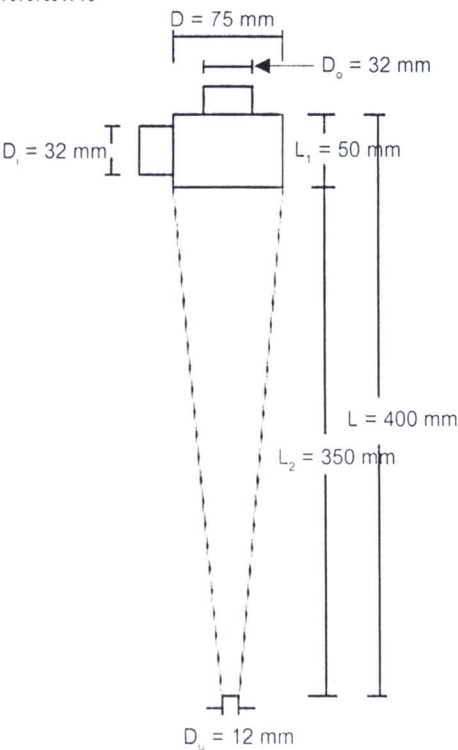
ชนิดของไฮโดรไซโคลน พารามิเตอร์ต่างๆ	ไฮโดรไซโคลน		
	ขนาด 75 มม.	ขนาด 50 มม.	ขนาด 10 มม.
เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (มม.)	32	20	2
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (มม.)	32	20	2
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (มม.)	12 10 8	10 9 6	1
วัสดุที่ใช้ทำตัวเรือนไฮโดรไซโคลน	เหล็กกล้าไร้สนิม	โพลียูเรเทน	เหล็กกล้าไร้สนิม

โดยไฮโดรไซโคลนทั้ง 3 ขนาดที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ

1. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร



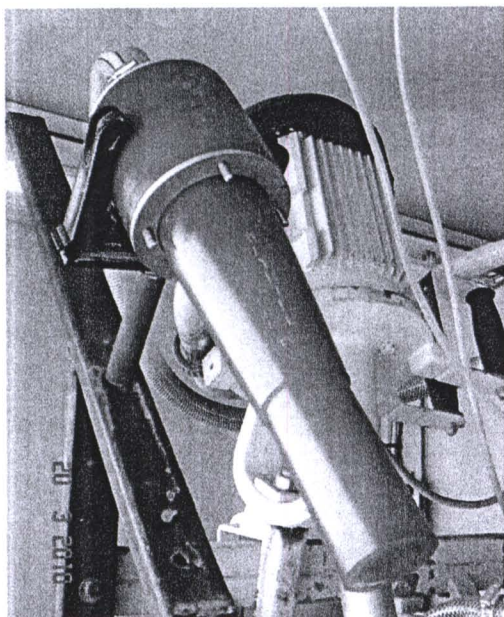
(ก)ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง



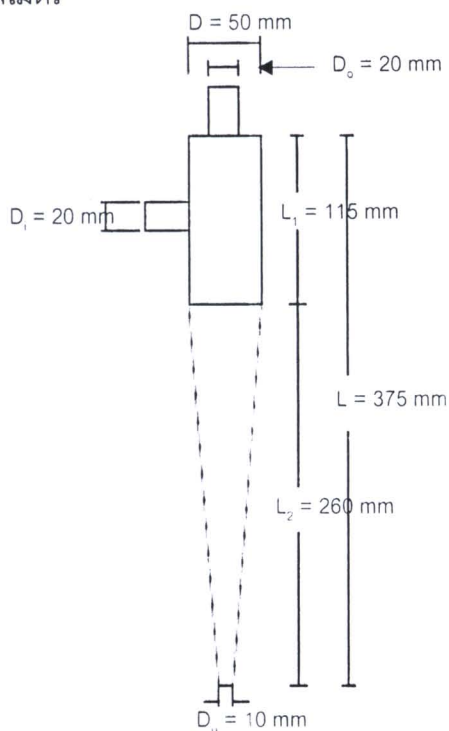
(ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรไซโคลน
กรณีทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.2 ไฮโดรไซโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (ก) ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง
(ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรไซโคลน กรณีทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

2. ไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร



(ก) ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง



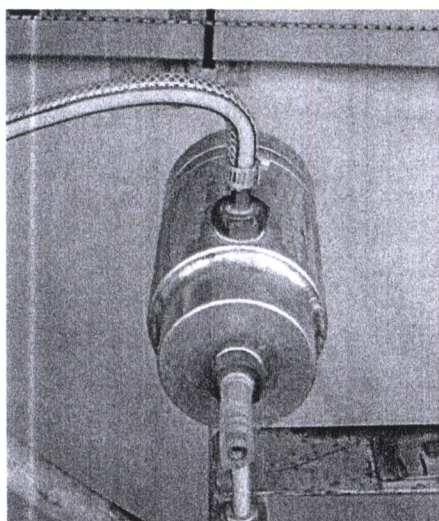
(ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรไซโคลน

กรณีทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

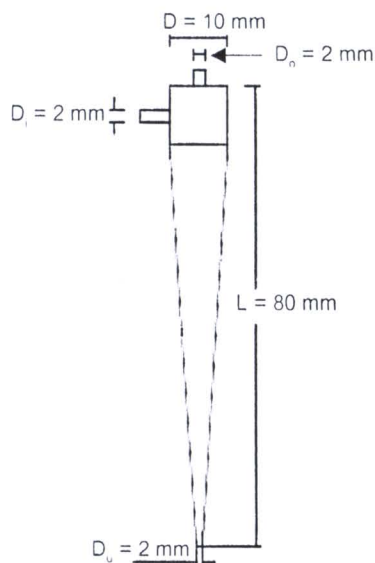
รูปที่ 3.3 ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (ก) ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง (ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรไซโคลน กรณีทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

3. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

โดยจากรูปที่ 3.4 ภายในประกอบไปด้วยไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร จำนวน 6 ตัว



(ก) ไฮโดรโซไคลนที่ใช้ในการทดลอง



(ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรโซไคลน

รูปที่ 3.4 ไฮโดรโซไคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (ก) ไฮโดรโซไคลนที่ใช้ในการทดลอง
(ข) แบบภาพเขียนแสดงขนาดของไฮโดรโซไคลน

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในงานวิจัย

1. ชุดอุปกรณ์การกรองสำหรับหาปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)
2. กระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน (Standard glassfiber filter)
3. ตู้อบ อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค Mastersizer 2000 with hydro 2000 MU
6. เครื่องมือวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100A Turbidity
7. ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ
8. นาฬิกาจับเวลา
9. กล้องถ่ายรูป

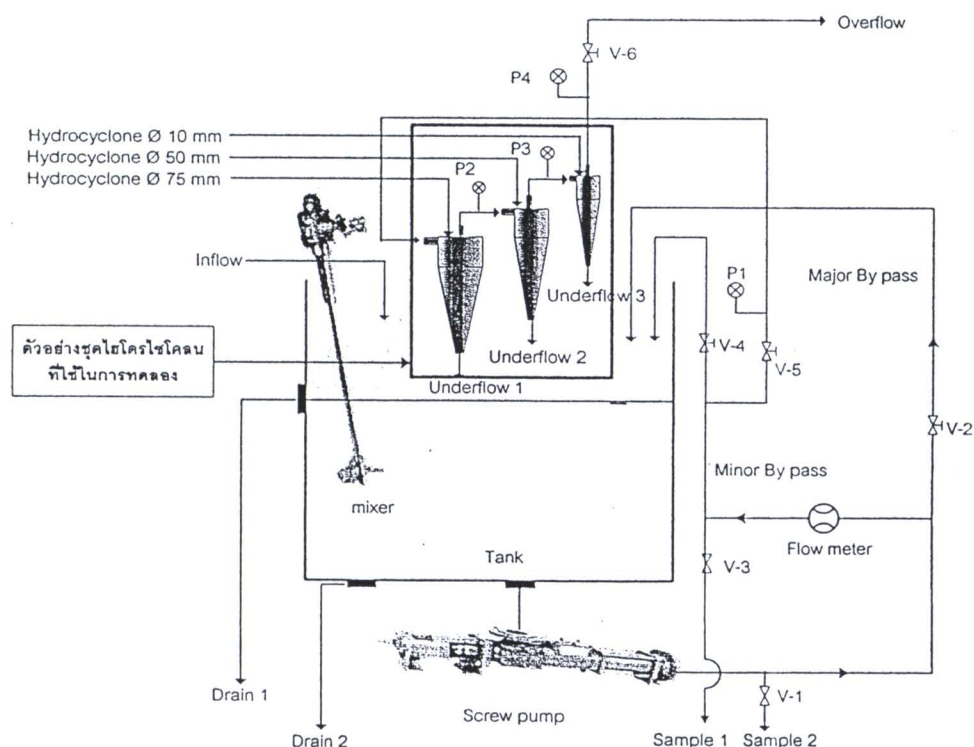
3.1.3 หลักการทำงานของโรงงานนำร่อง (Pilot plant)

น้ำดิบจากแหล่งน้ำตัวอย่างจะไหลผ่านเข้าสู่ถังขนาด 350 ลิตร และมีการกวนผสมด้วยใบกวน (Mixer) ขนาด 1.1 กิโลวัตต์ ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งทำหน้าที่กวนของแข็งและของเหลวภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นน้ำดิบในถังจะถูกสูบเข้าไฮโดรโซไคลนที่ติดตั้งไว้ด้วยเครื่องสูบน้ำชนิด Screw rotary displacement pump ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ ในการ

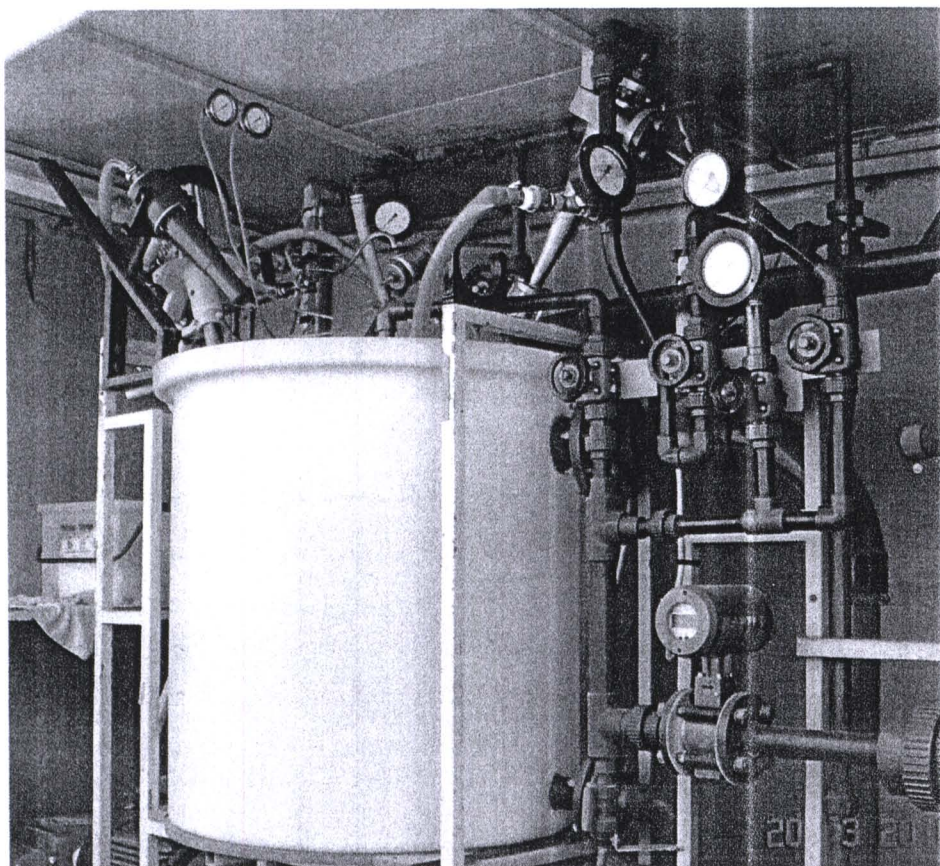
ควบคุมความดัน ควบคุมโดยอัตราการไหลโดยการให้การไหลทางอ้อม (By pass) เพื่อให้ได้ความดันตามที่กำหนด

Pilot plant ที่นำมาทดลองได้มีการติดตั้งท่อสำหรับการไหลทางอ้อม (By pass) ไว้ 2 ทาง โดยเส้นทางแรกทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลอย่างหยาบโดยใช้ประตูน้ำ V-2 และเส้นทางที่สองทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลอย่างละเอียดโดยใช้ประตูน้ำ V-4 อัตราการไหลที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนสามารถหาได้จากการอ่านค่าที่เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) ส่วนอัตราการไหลที่ออกจากไฮโดรไซโคลนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของปริมาตรกับเวลา โดยวัดปริมาตรน้ำและจับเวลา

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบเปิด คือ ใช้น้ำดิบจริงในการจ่ายเข้าสู่ถังเก็บน้ำที่มีการกวนผสมอยู่ตลอดเวลาและไหลล้นออกตลอดเวลาที่ท่อน้ำล้นส่วนบนของถังเก็บน้ำ เมื่อมีปริมาณน้ำดิบมากเกินไปจนขีดจำกัดของถังเก็บน้ำ และมีการเปลี่ยนน้ำดิบทุกครั้งหลังจากทำการเก็บน้ำตัวอย่าง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ช่องการไหล ซึ่งประกอบด้วย น้ำตัวอย่างที่จ่ายเข้า (Feed in) น้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนออกทางช่องทางออกด้านบน (Overflow) และน้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนออกทางช่องทางออกด้านล่าง (Underflow) และมีการวัดความดันโดยใช้ Pressure gauge ที่ไฮโดรไซโคลนแต่ละตัวด้วย



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของโรงงานนำร่อง (Pilot plant)



รูปที่ 3.6 Pilot plant ที่ใช้ทำการทดลองในสถานที่จริง และไฮโดรไซโคลนที่ต่อกันแบบอนุกรม (แสดงการต่ออนุกรมของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาด 75 50 และ 10 มิลลิเมตร)

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็นสามชุดการทดลอง คือ ชุดแรกได้ทำการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สองทำการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร และชุดที่สามทำการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร โดยในแต่ละชุดการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งไม่ติดตั้งกริพพอด และส่วนที่สองติดตั้งกริพพอด โดยจะติดตั้งที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนทั้งหมด

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยการจัดเรียงแบบอนุกรมของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริทพอด

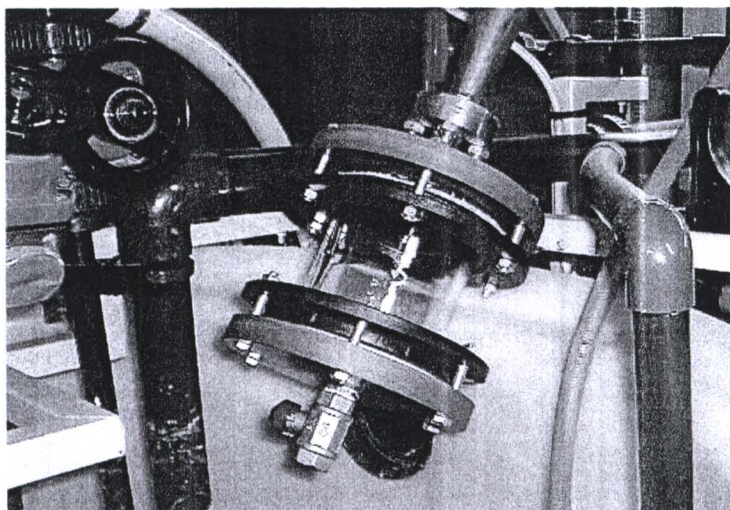
ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดของไฮโดรไซโคลน - ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. - ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. - ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. 2. กริทพอด (ในส่วนของทดลองที่ติดตั้งกริทพอดเท่านั้น)	- รายละเอียดของไฮโดรไซโคลนแสดงดังตารางที่ 3.1 - ทรงกระบอกโปร่งแสง ปริมาตร 1.2 ลิตร - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม.
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่าง 1.1 ในส่วนของทดลองที่ไม่มีการติดตั้งกริทพอด 1. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 50 และ 10 มม. - $D_u 75 = 12\ 10\ 8\ \text{มม.}$ - $D_u 50 = 10\ 9\ 6\ \text{มม.}$ - $D_u 10 = 1\ \text{มม.}$ 2. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มม. - $D_u 75 = 12\ 10\ 8\ \text{มม.}$ - $D_u 50 = 10\ 9\ 6\ \text{มม.}$ 3. ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 และ 10 มม. - $D_u 50 = 10\ 9\ 6\ \text{มม.}$ - $D_u 10 = 1\ \text{มม.}$ 1.2 ในส่วนของทดลองที่ทำการติดตั้งกริทพอด 1. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 50 และ 10 มม. - $D_u 75\ \text{และ}\ 50 = 10\ \text{มม.}$ $D_u 10 = 1\ \text{มม.}$ 2. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มม. - $D_u 75\ \text{และ}\ 50 = 10\ \text{มม.}$ 3. ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 และ 10 มม. - $D_u 50 = 10\ \text{มม.}$ $D_u 10 = 1\ \text{มม.}$	
2. ความดัน 1. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 50 และ 10 มม. - 0.5 1 2 3 บาร์ 2. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มม. - 0.5 1 2 3 บาร์ 3. ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 และ 10 มม. - 0.5 1 2 3 บาร์	
3. เวลาที่ใช้ในกริทพอด (ที่ติดตั้งกริทพอดเท่านั้น) 1. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 50 และ 10 มม. - 30 60 120 240 และ 360 นาที 2. ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มม. - 30 60 120 240 และ 360 นาที 3. ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 และ 10 มม. - 30 60 120 240 และ 360 นาที	

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยการจัดเรียงแบบอนุกรมของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริฟฟอต (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. อุณหภูมิ	- ขึ้นอยู่กับสภาพจริง
2. ลักษณะสมบัติของน้ำดิบ	- ขึ้นอยู่กับสภาพจริง
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
1. อัตราการไหล	- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลา
2. ขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบ	- วิเคราะห์ด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค
3. ค่าความขุ่น	- วัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น
- ทางจ่ายน้ำเข้า 1 ตำแหน่ง	
- ทางออกด้านบน 1 ตำแหน่ง	
- ทางออกด้านล่างทุกตำแหน่ง	
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	- วิธีการกรองหาปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือค้างบนกระดาษกรองเมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ^a

^a วิเคราะห์ตามวิธี Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA และ WEF, 1998)

และดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ว่าในงานวิจัยนี้มี 2 ส่วนการทดลองคือ ส่วนแรกไม่ทำการติดตั้งกริฟฟอต และส่วนที่สองทำการติดตั้งกริฟฟอต โดยจะติดตั้งที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.7 การติดตั้งกริฟฟอตที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน



รูปที่ 3.7 การติดตั้งกริพพอดที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน

3.3 แผนการทดลอง

การทดลองนี้ได้ดำเนินการโดยใช้ตัวอย่างน้ำดิบจริง คือ น้ำดิบจากสถานีสูบน้ำดิบสำแล ตำบลสำแล จังหวัดปทุมธานี บริเวณปากทางน้ำที่ผ่านสถานีสูบน้ำดิบก่อนส่งผ่านไปยังคลองประปา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำ Pilot plant ไปติดตั้งเพื่อทำการทดลอง หลังจากทำการทดลองแล้วจะนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากการทดลอง คือ ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย ค่าความขุ่น และขนาดอนุภาคทั้งก่อนและหลังเข้าไฮโดรไซโคลน ทั้งนี้การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่

3.3.1 การทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ติดตั้งกริพพอดที่ขนาดต่างๆ

1. การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม

- 1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- 1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- 1.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

โดยในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมนั้น มีเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มิลลิเมตร จำนวน 3 ค่า โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร คือ 12 10 8 มิลลิเมตร ไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร คือ 10 9 6 มิลลิเมตร และไม่มีการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

2. ในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างจะแปรผันค่าความดันที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลตัวแรก จำนวน 4 ค่า คือ 0.5 1 2 และ 3 บาร์
3. ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง คือ ทางจ่ายน้ำเข้า (Feed in) 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลตัวแรก ทางออกด้านบน (Overflow) 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลตัวสุดท้าย และทางออกด้านล่าง (Underflow) ทั้งหมดทุกตำแหน่งของไฮโดรไซโคล

3.3.2 การทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดที่ขนาดต่างๆ

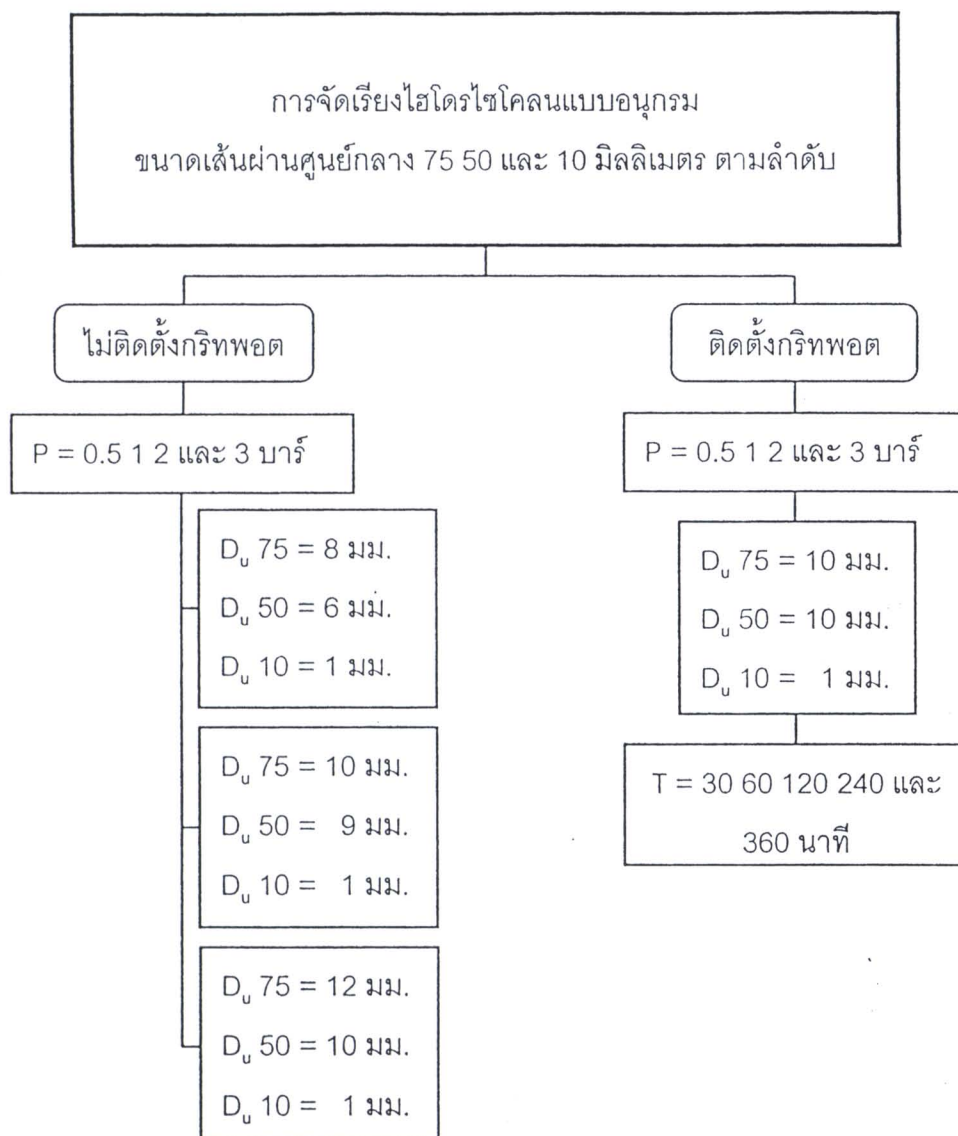
1. การจัดเรียงไฮโดรไซโคลแบบอนุกรม

- 1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- 1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- 1.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ทำการติดตั้งกริพพอดที่ทางออกด้านล่าง โดยไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 1 มิลลิเมตร

2. แปรผันค่าความดันที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลตัวไฮโดรไซโคลตัวแรก จำนวน 4 ค่า คือ 0.5 1 2 และ 3 บาร์
3. ในแต่ละความดันจะแปรผันเวลาที่ใช้ในกริพพอด คือ 30 60 120 240 และ 360 นาที
4. ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง คือ ทางจ่ายน้ำเข้า (Feed in) 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลตัวแรก ทางออกด้านบน (Overflow) 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลตัวสุดท้าย และทางออกด้านล่าง (Underflow) ทั้งหมดทุกตำแหน่งของไฮโดรไซโคล

การทดลองการจัดเรียงไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอด แสดงดังรูปที่ 3.8



เมื่อ D_{u75} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร หน่วยมิลลิเมตร

D_{u50} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หน่วยมิลลิเมตร

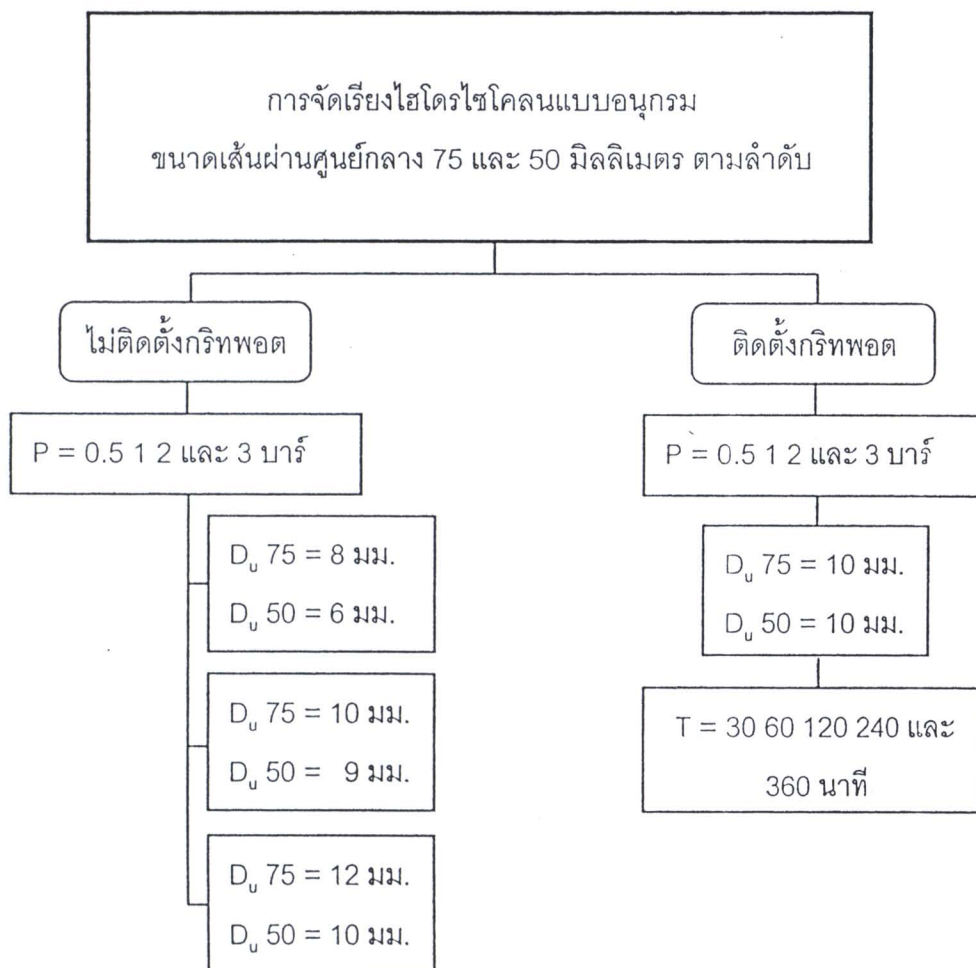
D_{u10} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หน่วยมิลลิเมตร

P คือ ความดันเข้า หน่วยบาร์

T คือ เวลาในการเดินระบบอย่างต่อเนื่องก่อนเก็บตัวอย่างจากกริทพอด
หน่วยนาที

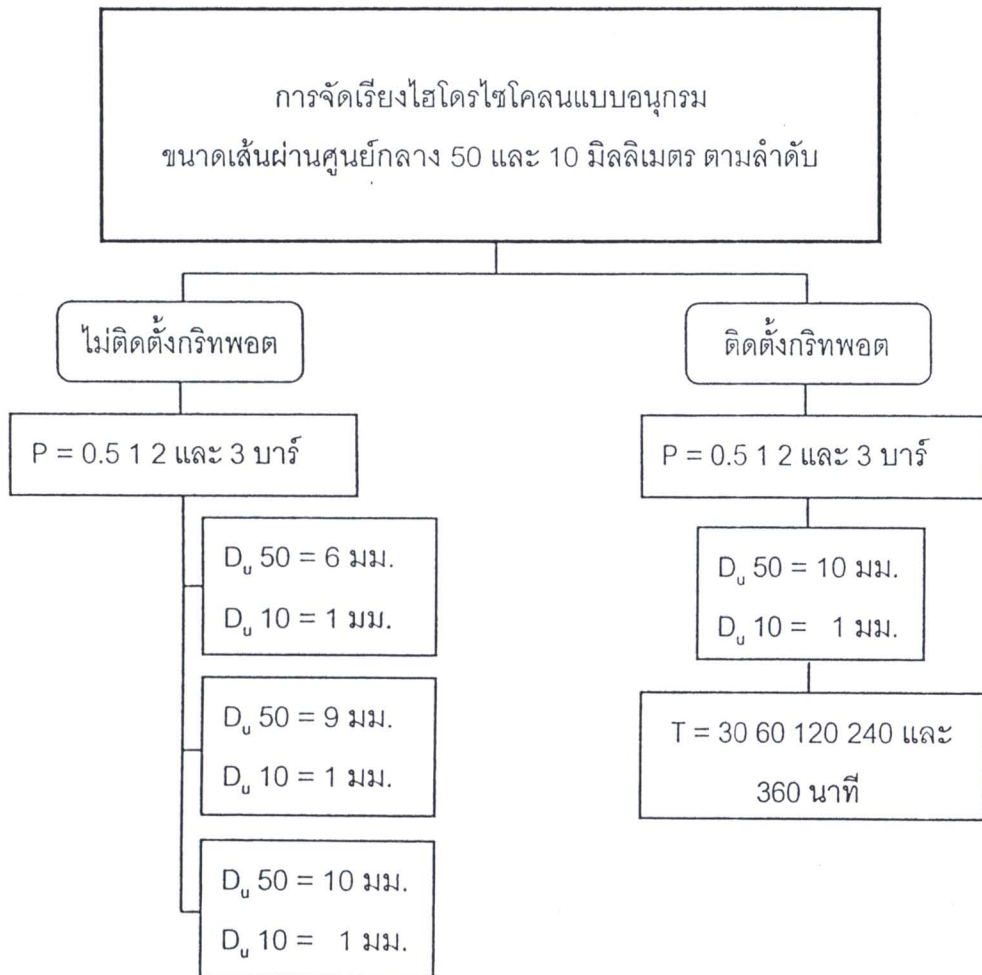
รูปที่ 3.8 แผนผังการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริทพอด

การทดลองการจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอต แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนผังการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอต

การทดลองการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอด แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งและที่ติดตั้งกริพพอด

3.4 วิธีทำการทดลอง

3.4.1 การทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ติดตั้งกริพพอดที่ขนาดต่างๆ

1. สูบน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยให้น้ำดิบไหลล้นออกไปที่ท่อน้ำล้นตลอดเวลา
2. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์
3. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนตัวแรกของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
4. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน
5. เปิดวาล์ว V-5 และ V-6 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน ดังรูปที่ 3.5 โดยน้ำที่ปล่อยเข้าไปจะเข้าไฮโดรไซโคลนตัวแรกของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
6. ทำการปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนตัวแรก 4 ค่า คือ 0.5 1 2 และ 3 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นการไหลทางอ้อม (By pass) เนื่องจากข้อจำกัดในการปรับแรงดันเข้าไฮโดรไซโคลน
7. จดบันทึกค่าอัตราการไหล (Feed flow rate) เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter)
8. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ช่องทางออกด้านบน (Overflow) และช่องทางออกด้านล่าง (Underflow)
9. วัดอัตราการไหลที่ช่องทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน โดยการจับเวลาที่น้ำไหลออกจนได้ปริมาตรน้ำประมาณ 1 ลิตร จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลา
10. นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
11. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกด้านล่างของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
 - 11.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ
 - 11.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ
 - 11.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร คือ 12 10 8 มิลลิเมตร ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร คือ 10 9 6 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเดียว คือ 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำตามการทดลองดังกล่าวข้างต้นซ้ำ

12. นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.4.2 การทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดที่ขนาดต่างๆ

1. ประกอบกริพพอดที่ช่องทางออกด้านล่าง โดยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 1 มิลลิเมตร
2. สูบน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยให้น้ำดิบไหลล้นออกไปที่ท่อน้ำล้นตลอดเวลา
3. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์
4. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำจากถังเก็บน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนตัวแรกของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
5. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน
6. เปิดวาล์ว V-5 และ V-6 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน ดังรูปที่ 3.1 โดยน้ำที่ปล่อยเข้าไปจะเข้าไฮโดรไซโคลนตัวแรกของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
7. ทำการปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนตัวแรกจำนวน 4 ค่า คือ 0.5 1 2 และ 3 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นการไหลทางอ้อม (By pass) เนื่องจากข้อจำกัดของการปรับแรงดันเข้าไฮโดรไซโคลน
8. ทำการแปรผันเวลาที่ใช้ในการเดินระบบที่มีการติดตั้งกริพพอด คือ 30 60 120 240 และ 360 นาที
8. จดบันทึกค่าอัตราการไหล (Feed flow rate) เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter)
9. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ช่องทางออกด้านบน (Overflow) และช่องทางออกด้านล่างของกริพพอด (Underflow)
10. วัดอัตราการไหลที่ช่องทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลา

11. นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.5 การแสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในผลการทดลองทำโดยใช้มาตรฐานของ Standard Method ซึ่งวิธีวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	วิธีวิเคราะห์	จำนวนการทดลอง
1. ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (Suspended solid)	- วิธีการกรองหาปริมาณของแข็งแขวนลอย (Standard Method)	เก็บตัวอย่างน้ำ
2. ค่าความขุ่น	- วัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น	- ช่องทางจ่ายน้ำเข้า 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลนตัวแรก
3. ขนาดอนุภาค	- วิเคราะห์ด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค	- ช่องทางออกด้านบน 1 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลนตัวสุดท้าย
		- ช่องทางออกด้านล่างทั้งหมดของไฮโดรไซโคลนทุกตัว (ทำการเก็บตำแหน่งละ 3 ครั้ง)

3.6 สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

จากรายละเอียดของการทดลองข้างต้นสามารถสรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม	ตัวแปรที่ทำการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง	จำนวนการทดลอง
1. ไฮโดรไซโคลน 75 50 และ 10 มม. ที่ไม่ติดตั้งกริฟฟอต	- เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง	- $D_u 75 = 12\ 10\ 8\ \text{มม.}$ $D_u 50 = 10\ 9\ 6\ \text{มม.}$ $D_u 10 = 1\ \text{มม.}$	3
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4



ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

ชนิดของการจัดเรียง ไฮโดรโซโคลนแบบอนุกรม	ตัวแปร ที่ทำการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง	จำนวน การทดลอง
2. ไฮโดรโซโคลน 75 50 และ 10 มม. ที่ติดตั้งกริฟฟอด	- เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง	- $D_u 75 = 10$ มม. $D_u 50 = 10$ มม. $D_u 10 = 1$ มม.	1
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4
	- เวลาที่ใช้ในกริฟฟอด	- 30 60 120 240 และ 360 นาที	5
3. ไฮโดรโซโคลน 75 และ 50 มม. ที่ไม่ติดตั้งกริฟฟอด	- เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง	- $D_u 75 = 12$ 10 8 มม. $D_u 50 = 10$ 9 6 มม.	3
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4
4. ไฮโดรโซโคลน 75 และ 50 มม. ที่ติดตั้งกริฟฟอด	- เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง	- $D_u 75 = 10$ มม. $D_u 50 = 10$ มม.	1
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4
	- เวลาที่ใช้ในกริฟฟอด	- 30 60 120 240 และ 360 นาที	5
5. ไฮโดรโซโคลน 50 และ 10 มม. ที่ไม่ติดตั้งกริฟฟอด	- เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง	- $D_u 50 = 10$ 9 6 มม. $D_u 10 = 1$ มม.	3
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4
6. ไฮโดรโซโคลน 50 และ 10 มม. ที่ติดตั้งกริฟฟอด	- เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง	- $D_u 50 = 10$ มม. $D_u 10 = 1$ มม.	1
	- ความดัน	- 0.5 1 2 และ 3 บาร์	4
	- เวลาที่ใช้ในกริฟฟอด	- 30 60 120 240 และ 360 นาที	5

รวมการทดลองทั้งสิ้น 96 การทดลอง