

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ประกอบด้วยกริดพอทเป็นหน่วย
บำบัดขั้นต้นในระบบผลิตน้ำประปา

นางสาวอ้อทิพย์ จีระพรชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY STUDY OF HYDROCYCLONE AND HYDROCYCLONE EQUIPPED WITH GRIT POT
AS A PRE – TREATMENT UNIT IN POTABLE WATER TREATMENT

Miss Ortip Jeerapornchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ประกอบด้วยกริตพอทเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในระบบผลิตน้ำประปา
โดย	นางสาวอ้อทิพย์ จีระพรชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

อรรถิพยั จีรพรชัย : การศึกษาควาเป็นไปไดใในการไ้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่
ประกอบดว้ยกฤตพอทเป็นหน่วยบ้บ้ดขัันต้นใในระบบผลิตน้ำประปา

(FEASIBILITY STUDY OF HYDROCYCLONE AND HYDROCYCLONE EQUIPPED
WITH GRIT POT AS A PRE – TREATMENT UNIT IN POTABLE WATER TREATMENT)

อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชัยพร ฎุประเสริฐ, 206 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาควาเป็นไปไดใในการไ้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท
มาลดปริมาณสารแขวนลอยใน้ำดิบก่อนเข้าสูระบบผลิตน้ำประปา โดยสำหรับไฮโดรไซโคลน
สารแขวนลอยจะแยกออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ส่วนไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท
สารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างจะไหลเข้าสูกริตพอท เนื่องจกกริตพอททำหน้าทีคล้ายถัง
ตกตะกอนขนาดเล็ก ทำใ้สารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างเกิดการสะสมตัวอยูใกริตพอทส่งผล
ใ้ความเข้มขั้นสูงขั้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภพใในการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำดิบถึง
พารามิเตอร์ต่าง ๆ ทีมีผลต่อประสิทธิภพของไฮโดรไซโคลนทั้งสองชนิด คือ ความดันจ่ายเข้า ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง และเวลาทีใ้ใในการเก็บ
กักตะกอนใกริตพอท เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยระดับทดลอง (Pilot Plant) ดำเนินการแบบทีละเท (Batch) กับน้ำดิบ
จริงทีโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล

ผลการวิจัย พบว่า ตัวแปรทีมีผลสำคัญทีสุดต่อประสิทธิภพใในการแยกสารแขวนลอยของ
ไฮโดรไซโคลนทั้งสองชนิด คือ ความดันจ่ายเข้า ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ มีผลน้อยกว่มาก เมื่อนำไฮโดร
ไซโคลนทั้งสองแบบไปใ้ใในการแยกสารแขวนลอยใน้ำดิบ พบว่า ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที
ติดตั้งกริตพอทมีประสิทธิภพใในการแยกสารแขวนลอยระหว่างร้อยละ 20 – 34 และร้อยละ 8 – 70
ตามลำดับ และจากการคำนวณโดยใ้ใช้ัตราการไหลของน้ำดิบจริงของโรงกรองน้ำสามเสน 2
ประมาณ 101,069 ลบ.ม. ต่อวัน พบว่า ไฮโดรไซโคลนทั้งสองชนิดลดปริมาณสลัดจ์ได้ระหว่าง 0.12 -
1.95 ตันต่อวัน และระหว่าง 0.22 – 3.83 ตันต่อวัน ตามลำดับ ส่งผลใ้สามารถลดค่าใช้จ่ายใในการ
กำจัดสลัดจ์สารส้มได้ถึง 327 – 12,096 บาทต่อวัน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2551.....

4870636521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : HYDROCYCLONE / PRE – TREATMENT / POTABLE WATER TREATMENT / GRIT POT / SEPARATION

ORTIP JEERAPORNCHAI : FEASIBILITY STUDY OF HYDROCYCLONE AND HYDROCYCLONE EQUIPPED WITH GRIT POT AS A PRE – TREATMENT UNIT IN POTABLE WATER TREATMENT. THESIS ADVISOR : CHAIYAPORN PUPRASERT, Ph. D., 206 PP.

In this research, Hydrocyclone and the new process, Hydrocyclone equipped with Grit Pot were tested as a pre-treatment in order to separate the suspended solid in raw water before entering the treatment plant. For hydrocyclone, the suspended solids are separated to underflow, while hydrocyclone equipped Grit pot will have the suspended solids pass through underflow and accumulated in Grit pot. The suspended solid in underflow of Hydrocyclone entered the Grit Pot and settled inside, which made solid more concentrated. The efficiency of suspended solid separation from raw water The affects of operational parameters such as inlet pressure, underflow diameter, Hydrocyclone diameter and Grit Pot operating time were varied.

This research was pilot plant experiment with batch operation using raw water from Samsen 2 water supply plant and samla raw water pumping station.

Results for the both types showed that, the inlet pressure had a great effect to process efficiency while the rest parameters showed an insignificantly effect. For treating the raw water flowrate of 101,069 m³/d, Hydrocyclone and Hydrocyclone equipped Grit pot showed 20-34 percents and 8–70 percents in term of solid separation efficiency and the both type can decrease the sludge production between 0.12-1.95 and 0.11-4.03 tons per day respectively depend on operating condition. And in term of sludge treatment expense, these 2 processes can decrease around 327–12,096 Baht per day.

Department.....Environmental Engineering.....

Student's signature.....

Field of Study.....Environmental Engineering.....

Advisor's signature.....

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เกิดขึ้นและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เกิดจากความช่วยเหลือจากทุก ๆ ฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ให้ผู้วิจัยสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทางในการดำเนินการ และคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งการวิเคราะห์ผลการทดลองและการตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และอาจารย์ ดร. พิสุทธิ์ เพียรมนกุล ที่ได้สละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ การประปานครหลวง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือสำหรับการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภายในห้องปฏิบัติการที่โรงกรองน้ำสามเสนและโรงสูบน้ำดิบสำแล ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัย ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวิโรจน์ วงศ์วิวัฒน์ไชย ผู้อำนวยการคลองส่งน้ำ คุณอำพล ปฐมมาณีค ผู้อำนวยการคลองส่งน้ำฝั่งตะวันออก คุณสัมพันธ์ ดวงประยงค์ หัวหน้าส่วนสถานีสูบน้ำสำแล คุณสุภัทร พาหุสัจจะลักษณะ หัวหน้าส่วนโรงกรองน้ำสามเสน 1 คุณศิริไล กิจพิทักษ์ หัวหน้าส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต รวมไปถึงพนักงานการประปานครหลวงทุกท่าน สำหรับการดูแลแนะนำ และช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทั้งในด้านวิชาการ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยที่การประปานครหลวง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้บรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้ทำวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโททุกท่าน เพื่อนนิสิตจากปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง รวมไปถึงนิสิตปริญญาเอกทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. บทนำ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไฮโดรไซโคลน.....	5
2.2. การไหลของของเหลวและการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน.....	8
2.3. ความเร็วของการไหลภายในไฮโดรไซโคลน.....	10
2.3.1. ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity).....	11
2.3.2. ความเร็วในแนวแกน (Axial Velocity).....	14
2.3.3. ความเร็วในแนวรัศมี (Radial Velocity).....	15
2.4. ประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน.....	16
2.4.1. ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency).....	16
2.4.2. ประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency).....	18
2.4.2.1. ประสิทธิภาพลดของไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา.....	19
2.4.2.2. ประสิทธิภาพลดของไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา.....	20
2.4.3. ประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency).....	21
2.4.4. ประสิทธิภาพระดับชั้นที่ลดลง (Reduced Grade efficiency).....	23

2.4.5. ขนาดตัด (Cut size).....	24
2.4.6. ความคมชัด (Sharpness) ในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลน.....	25
2.5. พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลน.....	27
2.5.1. ขนาดของไซโคลน (cyclone size).....	27
2.5.2. เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหล (Aperture diameter).....	28
2.5.2.1. ขนาดและรูปร่างของทางเข้า (Inlet size and Shape, ρ).....	29
2.5.2.2. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow diameter, D_o).....	29
2.5.2.3. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow diameter, D_u).....	31
2.5.3. ความยาวและรูปร่างของ Vortex finder (Vortex finder length and shape).....	31
2.5.4. ความยาวและมุมของไซโคลน (Cyclone length and angle).....	33
2.5.5. แกนอากาศ (air core).....	35
2.7. กฎของสโตก (Stokes's law).....	35
2.8. แนวคิดเรื่องกริตพอท.....	37
2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	50
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	50
3.1.1 ส่วนประกอบและการติดตั้ง Pilot plant.....	50
3.1.2 หลักการทำงานของ Pilot plant.....	54
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทดลอง.....	56
3.2 การดำเนินการทดลอง.....	56
3.3 วิธีทำการทดลอง.....	64
3.3.1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร.....	64
3.3.1.1. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	64
3.3.1.2. รายละเอียดการทดลอง.....	65
3.3.2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร ที่ทำการติดตั้งกริตพอท.....	66
3.3.2.1. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	66

3.3.2.2. รายละเอียดการทดลอง.....	67
3.4 สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	69
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	70
4.1. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน (Reduced Efficiency).....	71
4.1.1. ผลการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2.....	71
4.1.2. ผลการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	74
4.1.3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	76
4.1.4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา กับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	78
4.1.5. เปรียบเทียบการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนกับการแยกสารแขวนลอยในระบบผลิตน้ำประปาปัจจุบัน.....	79
4.2. ความเข้มข้นสารแขวนลอย.....	80
4.2.1. ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท.....	80
4.2.2. ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	83
4.2.3. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 กับสถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	86
4.2.4. เปรียบเทียบความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา และไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	87
4.3. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน.....	89
4.3.1. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท.....	89
4.3.2. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	94
4.4. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน.....	99
4.4.1. ความดัน.....	99
4.4.2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน.....	101
4.4.3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน.....	102
4.4.4. ผลของเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท.....	103
4.5. สลัดจ์ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา.....	104

4.5.1. สลัดจ์ที่ลดลงได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท.....	104
4.5.2. สลัดจ์ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	111
4.6. ขนาดอนุภาค.....	117
4.6.1. ขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท.....	118
4.6.2. ขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	122
4.6.3. เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	124
4.6.4. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนกับขนาดอนุภาค.....	124
4.6.5. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท.....	125
4.6.6. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ที่ติดตั้งกริตพอท.....	126
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	127
5.1. สรุปผลการทดลอง.....	127
5.1.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลน.....	127
5.1.2 ประสิทธิภาพที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน.....	128
5.2. ข้อเสนอแนะ.....	129
รายการอ้างอิง.....	131
ภาคผนวก.....	134
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	135
ภาคผนวก ข ผลการคำนวณมวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน.....	158
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง.....	171
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	206

สารบัญตาราง

๗

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลนของ Bradley และ Rietema...	41
ตารางที่ 3.1 รูปร่างและลักษณะของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50, 75 มิลลิเมตร..	51
ตารางที่ 3.2 รูปตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร.....	64
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท.....	66
ตารางที่ 3.4 วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	69
ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง).....	77
ตารางที่ 4.2 อัตราการแบ่งการไหลและความเข้มข้นสารแขวนลอยทั้ง 3 เส้นทางของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันจ่าย เข้าต่าง ๆ กัน	105
ตารางที่ 4.3 อัตราการแบ่งการไหลและความเข้มข้นสารแขวนลอยทั้ง 3 เส้นทางของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันจ่าย เข้าต่าง ๆ กัน	106
ตารางที่ 4.4 อัตราการไหลเข้าของโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล ที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง.....	107
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำไฮโดรไซโคลน มาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	116
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ ระบบผลิตน้ำประปา (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	116
ตารางที่ 4.7 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	118
ตารางที่ 4.8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	119
ตารางที่ 4.9 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	120

ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลอน
 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)..... 121

ตารางที่ 4.11 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้
 จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท
 (โรงกรองน้ำสามเสน 2)..... 122

ตารางที่ 4.12 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้
 จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท
 (โรงกรองน้ำสามเสน 2)..... 122

ตารางที่ 4.13 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้
 จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท
 (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)..... 123

ตารางที่ 4.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้
 จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท
 (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)..... 123

สารบัญภาพ

ฐ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นทางการไหลภายในไฮโดรไซโคลน.....	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลของกระแสภายในไฮโดรไซโคลน.....	9
รูปที่ 2.3 เส้นทางการไหลของน้ำที่ทางออกในแนวแกนและการไหลในแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลนแบบทั่วไป.....	10
รูปที่ 2.4 ความเร็วของการไหลในไฮโดรไซโคลน.....	11
รูปที่ 2.5 ลักษณะการกระจายความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงทั้ง 3 ประเภท.....	13
รูปที่ 2.6 ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity).....	14
รูปที่ 2.7 ความเร็วในแนวแกนภายในไฮโดรไซโคลน (Axial Velocity).....	15
รูปที่ 2.8 ความเร็วตามแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน (Radial Velocity).....	16
รูปที่ 2.9 ทิศทางการไหลเข้าออกของของไหลในไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา.....	19
รูปที่ 2.10 ทิศทางการไหลเข้าออกของของไหลในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	20
รูปที่ 2.11 เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve).....	22
รูปที่ 2.12 ความคมชัด (Sharpness) ในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลน.....	26
รูปที่ 2.13 ผลของความยาวของ Vortex finder ต่อ Grade efficiency และขนาดตัด.....	33
รูปที่ 2.14 เส้นทางการไหลของน้ำในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท.....	38
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกอนุภาคกับขนาดอนุภาคเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไฮโดรไซโคลนธรรมดากับไฮโดรไซโคลนติดตั้งกริตพอท.....	39
รูปที่ 3.1 ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร.....	51
รูปที่ 3.2 ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร.....	52
รูปที่ 3.3 แสดงถึงการติดตั้งกริตพอทที่ทางน้ำออกด้านล่าง.....	52
รูปที่ 3.4 โรงงานนำร่อง (Pilot plant).....	53
รูปที่ 3.5 แผนผังของโรงงานนำร่อง (pilot plant).....	53
รูปที่ 3.6 การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร.....	55
รูปที่ 3.7 การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาด 75 มิลลิเมตร.....	55
รูปที่ 3.8 สถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	57
รูปที่ 3.9 จุดที่น้ำดิบผ่านจากสถานีสูบน้ำเพื่อส่งผ่านไปทางคลองประปา.....	57
รูปที่ 3.10 ลักษณะของน้ำดิบและความขุ่นของน้ำดิบที่สถานีสูบน้ำสำแลที่ใช้ในการทดลอง.....	58
รูปที่ 3.11 ที่ตั้งโรงกรองน้ำสามเสน 2.....	58

รูปที่ 3.12 ที่ตั้ง pilot plant ภายในโรงกรองน้ำสามเสน 2.....	59
รูปที่ 3.13 บริเวณบ่อสูบน้ำเข้าบ่อพักน้ำภายในโรงกรองน้ำสามเสน 2.....	59
รูปที่ 3.14 ลักษณะของน้ำดิบและความขุ่นของน้ำดิบที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
รูปที่ 3.15 แผนผังการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรและ การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท.....	62
รูปที่ 3.16 แผนผังการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรและ การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท.....	63
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)..	72
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)..	72
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	73
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)...	74
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)...	75
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	75
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	81
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	81
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	82

รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	83
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)...	84
รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)...	84
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)...	85
รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)...	86
รูปที่ 4.15.ความเข้มข้นสารแขวนลอยในกริตพอทที่เริ่มต้นการทดลอง เมื่อทดลองด้วย ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์.....	87
รูปที่ 4.16.ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทที่ 5.45 ชั่วโมง เมื่อทดลองด้วย ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์.....	88
รูปที่ 4.17. ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านบนด้วยไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา.	88
รูปที่ 4.18. ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านบนด้วยไฮโดรไซโคลน ที่ติดตั้งกริตพอท.....	89
รูปที่ 4.19.มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	91
รูปที่ 4.20.มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	91
รูปที่ 4.21.มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	92
รูปที่ 4.22.มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	93
รูปที่ 4.23.มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	95
รูปที่ 4.24. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	95

รูปที่ 4.25. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	96
รูปที่ 4.26. มวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	97
รูปที่ 4.27. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	108
รูปที่ 4.28. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	108
รูปที่ 4.29. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	109
รูปที่ 4.30. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	110
รูปที่ 4.31. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	111
รูปที่ 4.32. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2).....	112
รูปที่ 4.33. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	114
รูปที่ 4.34. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล).....	114

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ด

A_i	พื้นที่หน้าตัดช่องทางเข้าไฮโดรไซโคลอน (Inlet Area) (ตารางเมตร)
C_f	ความเข้มข้นของผลสมที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลอน (มวลต่อปริมาตร)
C_{GP}	ความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งในกริตพอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)
C_u	ความเข้มข้นของผลสมของที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน (มวลต่อปริมาตร)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอน (เมตร)
D_a	เส้นผ่านศูนย์กลางแกนอากาศ (เมตร)
D_i	ขนาดของช่องจ่ายเข้า (Inlet Diameter) (เมตร)
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow diameter) (เมตร)
D_u	เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow diameter) (เมตร)
D^*	เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือนของไฮโดรไซโคลอน เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า มีค่าเท่ากับ $D - D_i$
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (particle diameter) (เมตร)
E_T	ประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลอน
E'_T	ประสิทธิภาพลดของไฮโดรไซโคลอน
F	เปอร์เซ็นต์ของขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดตัด (x_{50}) (% oversize)
$F_i(X)$	เปอร์เซ็นต์การสะสมอนุภาคของแข็งที่จ่ายเข้าสู่ไซโคลอน (%)
$F_o(X)$	เปอร์เซ็นต์การสะสมอนุภาคของแข็งที่ทางออกด้านบน (%)
$F_u(X)$	เปอร์เซ็นต์การสะสมอนุภาคของแข็งที่ทางออกด้านล่าง (%)
$G(x)$	เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve)
$G'(x)$	เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้นที่ลดลง (Reduce Grade efficiency curve)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตรต่อวินาที ²)
$H\left(\frac{25}{75}\right)$	ตำแหน่งที่ใช้วัดความคมชัดของไฮโดรไซโคลอนที่ 25 และ 75 เปอร์เซ็นต์
l	ความยาวของ Vortex finder
m	มวล (กิโลกรัม)
M	มวลของแข็งที่ถูกป้อนเข้าไปภายในไฮโดรไซโคลอน (มวลต่อเวลา)
M_u	มวลของแข็งที่ถูกแยกออกไปยังทางออกด้านล่าง (มวลต่อเวลา)
Q	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

Q_f	อัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลน (ปริมาตรต่อเวลา)
Q_o	อัตราการไหลที่ออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลน (ปริมาตรต่อเวลา)
Q_u	อัตราการไหลที่ออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลน (ปริมาตรต่อเวลา)
R	รัศมีของไฮโดรไซโคลน (บริเวณที่เป็นทรงกระบอก) (เมตร)
R_f	อัตราส่วนการแบ่งอัตราการไหล (flow ratio)
T	เวลาในการเดินระบบอย่างต่อเนื่องในการเก็บน้ำตัวอย่างจากกริตพอท (นาที)
t	ความหนาของผนัง Vortex finder (เมตร)
V_{GP}	ปริมาตรของกริตพอท (ลิตร)
V_i	ความเร็วที่ช่องจ่ายเข้า (Inlet velocity) (เมตรต่อวินาที)
v_p	ความเร็วการตกตะกอน (terminal velocity) (เมตรต่อวินาที)
V_x	ความเร็วตามแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน (Radial Velocity) (เมตรต่อวินาที)
V_y	ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity) (เมตรต่อวินาที)
V_z	ความเร็วในแนวแกนภายในไฮโดรไซโคลน (Axial Velocity) (เมตรต่อวินาที)
x_i	ขนาดตัดที่จุดตัดผ่านทั้ง 2 ขนาด (Intersection cut size) (เมตร)
X_{50}	ขนาดตัด (Cut size)
x_{25}	ขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดตัดที่สามารถแยกออกมาได้ที่ทางออกด้านล่างจากอนุภาคทั้งหมด 25 เปอร์เซ็นต์ (m)
x_{75}	ขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดตัดที่สามารถแยกออกมาได้ที่ทางออกด้านล่างจากอนุภาคทั้งหมด 75 เปอร์เซ็นต์ (m)
n	ค่าคงที่ของรูปร่างไฮโดรไซโคลน มีค่าระหว่าง 0.4 – 0.9 (Bradley, 1965)
n_p	ค่าคงที่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามการออกแบบโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 0.0375
μ	ความหนืดพลศาสตร์ของของเหลว (dynamic viscosity) หน่วย นิวตันวินาทีต่อตารางเมตร
ξ	ความเร่งหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ภายในไฮโดรไซโคลน หน่วย เมตรต่อวินาที
θ	มุมกรวยของไฮโดรไซโคลน
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ
ρ_p	ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง
ΔP	ความดันลด

$\Delta\rho$	ความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างอนุภาคกับของเหลว (particle density) (กิโลกรัมต่อเมตร ³)
α	อัตราส่วนระหว่างความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงของไฮโดรไซโคลน, V_y กับความเร็วที่ท่อย้ายเข้า, V_i (Bradley, 1965)

บทที่ 1

บทนำ

1.1. บทนำ

ในกระบวนการทำความสะอาดน้ำเพื่อผลิตน้ำประปา ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือ การกำจัดความขุ่น ซึ่งส่วนใหญ่มีมาจากสารแขวนลอยในน้ำดิบ ในปัจจุบันได้ใช้หลักการของกระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟลอคกูเลชัน (Coagulation – Flocculation) เพื่อรวมสารแขวนลอยขนาดเล็กให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ หลังจากนั้นทำการแยกตะกอนออกด้วยการตกตะกอน (Sedimentation) ในขั้นตอนของการรวมสารแขวนลอยขนาดเล็กให้เป็นตะกอนขนาดใหญ่ นั้นได้มีการใช้โคแอกกูแลนท์ชนิดสารส้มและโพลีเมอร์เป็นตัวทำให้ตะกอนเกาะตัวกันเป็นก้อนและง่ายต่อการตกตะกอนมากขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสัจจของสารส้มจากกระบวนการดังกล่าวมีปริมาณมากและยากต่อการบำบัด ทำให้เกิดของเสียขึ้น (ส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โรงกรองน้ำสามเสน การประปานครหลวง, 2006) งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการนำไฮโดรไซโคลนเข้ามาทำหน้าที่แยกของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ออกจากน้ำดิบก่อนเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟลอคกูเลชัน (Coagulation – Flocculation) เพื่อลดปริมาณการใช้โคแอกกูแลนท์ในกระบวนการผลิตน้ำประปา และจะส่งผลให้สามารถลดปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกัน

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกของผสมในกระบวนการอุตสาหกรรมมานานแล้ว โดยอาศัยหลักการหมุนเหวี่ยงของเหลวภายในไฮโดรไซโคลนให้เกิดแรงเหวี่ยงเพื่อให้อนุภาคของแข็งที่ผสมอยู่ถูกแยกโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปยังขอบของไฮโดรไซโคลน การแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลนอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น หรือ ขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน(ในกรณีของแข็ง) การจ่ายของผสมเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนนั่นส่วนใหญ่จะจ่ายทางด้านข้างเพื่อให้เกิดแนวสัมผัสเส้นรอบวง ทำให้เกิดการหมุนเหวี่ยงแล้วแยกของผสมออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนที่ไหลลงด้านล่าง (underflow) ซึ่งจะนำเอาของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นสูงหรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่ไหลออกพร้อมกับน้ำบางส่วน และส่วนที่สองคือ ส่วนที่แยกออกไปยังทางออกด้านบน (overflow) ซึ่งจะนำเอาน้ำใสหรือของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าออก

ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งของไฮโดรไซโคลนจะไม่สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติของแข็งที่มีขนาดเล็ก ๆ และ/หรือน้ำหนักน้อย ๆ จะหลุดไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอยู่เสมอ ดังนั้น

ไฮโดรไซโคลนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ ไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ซึ่งข้อแตกต่างของไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดากับไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอท คือ ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทให้ความเข้มข้นของอนุภาคที่ทางออกด้านล่างมากกว่าไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาประมาณ 5- 15 เท่า ทำให้สามารถใช้กำลังของแข็งแขวนลอยบางส่วนออกจากน้ำดิบได้ง่ายกว่าและใช้เวลาในการรวบรวมความเข้มข้นของตะกอนที่ต้องการกำจัดน้อยกว่าไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา (Puprasert และคณะ, 2004) แต่ข้อเสียของไฮโดรไซโคลนติดตั้งกริตพอท คือ ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็งจะต่ำกว่าไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จะศึกษาการใช้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอทในการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำในระบบประปา เพื่อลดการเติมสารเคมีลงไปในการผลิตน้ำประปาและลดปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท เพื่อใช้เป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา
- 1.2.2. เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท
- 1.2.3. เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการลดสารโคแอกกูเลนต์หลังจากการใช้ไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทกำจัดสารแขวนลอยออกจากน้ำดิบในขั้นต้น

1.3. ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับทดลอง (Pilot plant) โดยใช้การทดลองแบบแบตช์ (Batch) ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ตำบลสำแล จังหวัดปทุมธานี และโรงกรองน้ำสามเสน 2 ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400 โดยมีการนำ Pilot plant ไปทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบทั้งสองแห่ง โดยที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลได้มีการติดตั้ง Pilot plant ที่บริเวณสถานีสูบน้ำดิบ และที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ได้ทำการติดตั้ง Pilot plant ที่บริเวณบ่อสูบน้ำดิบจากคลองประปาเข้าสู่โรงกรองน้ำ หลังจากนั้นได้ทำการทดลองและเก็บตัวอย่างน้ำดิบก่อนและหลังผ่านไฮโดรไซโคลน เพื่อนำน้ำตัวอย่างที่ได้กลับมาทดลองหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่วงเวลาที่ทำการทดลองคือระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

- 1.3.1. น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำดิบจริงจากสถานีสูบน้ำดิบสำแลบริเวณปากทางน้ำที่ผ่านสถานีสูบน้ำก่อนส่งผ่านไปทางคลองประปาก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา และน้ำดิบจริงจากโรงกรองน้ำสามเสน 2 บริเวณบ่อพักน้ำดิบที่ส่งผ่านมาจากคลองประปาก่อนผ่านเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำสามเสน 2 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- 1.3.2. ไฮโดรไซโคลนที่ใช้มี 2 ขนาด คือ ไฮโดรไซโคลน NYRTEC รุ่น HC 50 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทำจากโพลียูเรเทน (Polyurethane) และไฮโดรไซโคลน NYRTEC รุ่น HC 75 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)
- 1.3.3. มีการนำ mobile pilot plant ขนาด 3 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มาใช้ในการทดลองในงานภาคสนาม ณ. สถานที่จริง ช่วงเวลาที่ทำการทดลองคือระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550
- 1.3.4. กริดพอทที่นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นพลาสติกทรงกระบอกโปร่งแสง เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร ความจุ 1.2 ลิตร

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1. ทราบความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอทเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นสำหรับระบบผลิตน้ำประปา
- 1.6.2. ทราบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไฮโดรไซโคลน

ในอดีตไฮโดรไซโคลนถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้แยกแร่ต่าง ๆ กรวด หิน ดิน ทราย และโคลนออกจากน้ำ แต่ในปัจจุบันไฮโดรไซโคลนได้นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากขึ้น เช่น อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมเคมี โรงปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมี อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า อาหารและยา (Bradley, 1965) ตัวอย่างเช่น กระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบ แยกกรวดทรายออกจากน้ำอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมการผลิตยีสต์ เป็นต้น โดยหลักการทำงานของไฮโดรไซโคลน คือ การแยกของผสมออกจากกันโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยอาจใช้ในการแยกของแข็งออกจากของแข็ง ของแข็งออกจากของเหลว และของเหลวออกจากของเหลว ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างของผสม 2 ชนิด ที่ผสมกันอยู่และ/หรือขนาดและรูปร่างของอนุภาค

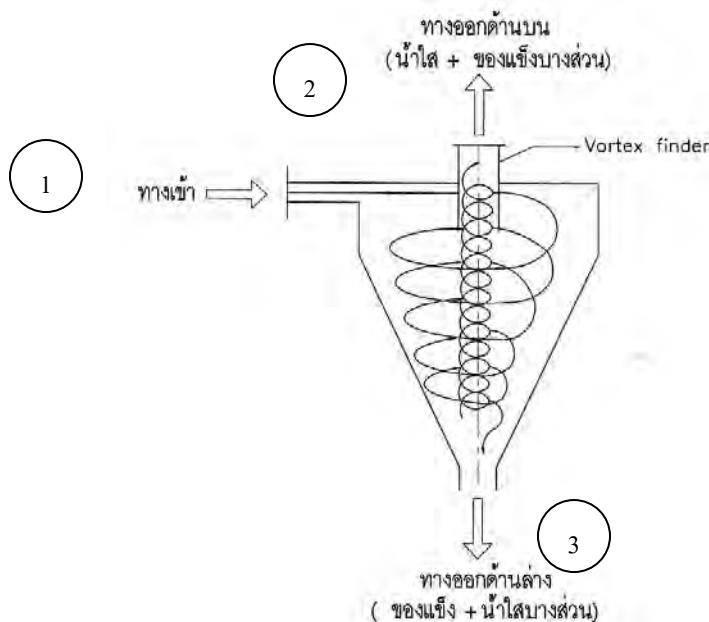
ไฮโดรไซโคลนทำงานคล้ายกับเครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง คืออาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกของผสมออกจากกัน แต่ชิ้นส่วนของไฮโดรไซโคลนจะไม่มีภาชนะที่ใด ๆ ทั้งสิ้น ต่างจากเครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทั่วไป

เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลนมีสามทางดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ

1. ทางเข้าของของผสม (Feed) จะอยู่ทางด้านข้างของไฮโดรไซโคลนเพื่อให้เกิดความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่สามารถแยกตัวออกมายังชั้นขอบได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดเล็กและหลุดออกไปที่ทางออกด้านล่าง ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กไหลแยกออกไปยังทางออกด้านบน
2. ทางออกด้านบน (Overflow) เป็นทางออกของน้ำและอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กหรือความหนาแน่นต่ำ
3. ทางออกด้านล่าง (Underflow) เป็นทางออกของน้ำและอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่หรือความหนาแน่นสูง

การเคลื่อนที่ของของผสมเข้าไฮโดรไซโคลน จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดันของน้ำโดยที่ช่องทางเข้าของไฮโดรไซโคลนส่วนใหญ่จะมีหน้าตัดเป็นทรงกลม (จุด (1) ในรูปที่ 3.1) ดังนั้นเมื่อมีการจ่ายของ

ผสมเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนทางด้านข้างจะทำให้เกิดความเร็วด้านสัมผัสผิวด้านรอบวง (Tangential velocity) เพื่อให้เกิดการหมุนเหวี่ยงแล้วแยกของผสมออกที่มีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นต่างกัน ออกจากกันเป็นสองส่วน โดยอนุภาคขนาดใหญ่หรือของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นสูงจะไหลออกทางด้านล่าง (Underflow) ส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำใสและอนุภาคขนาดเล็กหรือของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำจะไหลขึ้นและออกทางด้านบน (Overflow) ผ่านท่อที่อยู่ภายใน ท่อดังกล่าว เรียกว่า Vortex finder



รูปที่ 2.1 เส้นทางการไหลภายในไฮโดรไซโคลน

การเคลื่อนที่ของของไหลภายในไฮโดรไซโคลนอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นภายในไฮโดรไซโคลน คือ เมื่อจ่ายของผสมเข้าที่ช่องทางเข้าตามแนวสัมผัสผิวด้านรอบวงทำให้เกิดการหมุนวนสองส่วนคือ การหมุนวนภายนอก (Outer vortex) และการหมุนวนภายใน (Inner vortex) การหมุนวนภายนอกจะนำพาอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่หรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นสูงออกมาทางด้านล่าง และการหมุนวนภายในจะนำพาน้ำใสและอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กหรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำออกทางด้านบนและที่แกนกลางของไฮโดรไซโคลนจะเกิดแกนอากาศ (air core) ขึ้น

ส่วนบนของไฮโดรไซโคลนจะพบการไหลอีกแบบหนึ่ง ซึ่งของผสมจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนปิดบน Vortex finder และรอบๆผนังของไฮโดรไซโคลนโดยที่ของผสมนี้จะไหลวนอยู่ในส่วนบนของไฮโดร

ไฮโดรไลซิสและไหลออกทางด้านบน (Overflow) โดยไม่ไหลลงไปสู่ทางออกด้านล่าง (Underflow) ดังนั้นของผสมที่ไหลออกจากทางออกด้านบนจะไหลไปรวมกับของผสมที่ไม่ได้เข้ามาในไฮโดรไลซิส เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า การไหลลัดวงจร (Short-circuit flow) ซึ่งทำให้ความเร็วของการหมุนวนในไฮโดรไลซิสลดลง เนื่องจากการไหลวนอยู่เฉพาะบริเวณภายในช่วงบนของไฮโดรไลซิส

การใช้ไฮโดรไลซิสในอุตสาหกรรมมักจะใช้ไฮโดรไลซิสหลายๆ ตัวมาต่อกันเป็นอนุกรม เพื่อประสิทธิภาพในการแยกที่สูงขึ้น อัตราการไหลของไฮโดรไลซิสจะอยู่ในช่วง 0.1 – 7200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง การควบคุมระบบจะควบคุมที่ความดันลด (Pressure Drop) ซึ่งจะควบคุมให้อยู่ในช่วง 0.34 – 6 บาร์ (Svarovsky, 1984) ถ้าเป็นไฮโดรไลซิสที่มีขนาดเล็กๆ โดยส่วนใหญ่แล้วจะให้ความดันสูงกว่าไฮโดรไลซิสขนาดใหญ่ เนื่องจากความดันลดที่สูงกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไลซิสจะอยู่ในช่วง 10 มิลลิเมตร – 2.5 เมตร และมีขนาดตัด (cut size) สำหรับของแข็งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2 – 250 ไมโครเมตร (Bradley, 1965)

ข้อดีและข้อเสียของไฮโดรไลซิส สามารถสรุปได้ดังนี้

ข้อดีของไฮโดรไลซิส

1. มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกระบวนการแยกสารชนิดอื่น จึงทำให้ประหยัดพื้นที่และใช้เวลาเก็บกักน้ำและอนุภาคแขวนลอยน้อย
2. ไฮโดรไลซิสสามารถติดตั้งได้ทุกทิศทางในการใช้งานไม่ใช่เฉพาะในแนวตั้งและสามารถนำไปใช้ได้หลายกรณี เช่น การแยกน้ำใสออกจากตะกอนดิน การแยกของเหลวต่างชนิดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน การแยกของแข็งที่มีขนาดที่มีความหนาแน่นหรือขนาดรูปร่างต่างกัน อีกทั้งยังสามารถแยกก๊าซออกจากของเหลวได้
3. ใช้งานง่าย ราคาถูก การติดตั้งและทำงานต้องการการดูแลรักษาต่ำ

ข้อเสียของไฮโดรไลซิส

1. ไฮโดรไลซิสไม่สามารถแยกอนุภาคออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากที่ทางออกด้านล่างจะมีน้ำไหลปะปนออกไปกับอนุภาคของแข็งในขณะที่ต้องการอนุภาคของแข็งเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับที่ทางออกด้านบนจะมีอนุภาคของแข็งปะปนมากับน้ำในขณะที่ต้องการน้ำใสเพียงอย่างเดียว

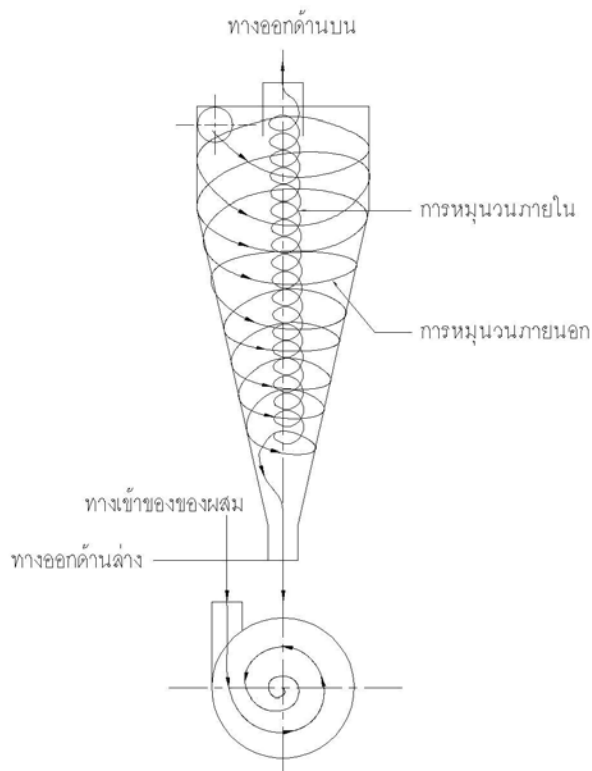
2. ตัวเรือนไฮโดรไซโคลนเกิดการกัดกร่อนได้ เช่น เมื่อมีการแยกอนุภาคขนาดใหญ่และ/หรือหยาบภายในไฮโดรไซโคลนอาจทำให้เกิดการกระทบกันระหว่างอนุภาคของแข็งกับผนังภายในไฮโดรไซโคลน ก่อให้เกิดความเสียหายและทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลนลดลง (Svarovsky, 1984) แต่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการเคลือบผิวภายในไฮโดรไซโคลน เช่น เคลือบผิวเหล็กกล้าด้วย Teflon และ BI – COATING เป็นต้น

3. แรงเฉือน (Shear force) ที่มีมากในไฮโดรไซโคลนทำให้อนุภาคที่เกาะตัวกันเป็นก้อนจากกระบวนการสร้าง – รวมตะกอน (coagulation – flocculation) เกิดการแตกตัวออกจากกันได้

4. ใช้พลังงานสูงในการสร้างความเร็วในการไหลเข้าโดยควบคุมความดันจ่ายเข้า เพื่อปรับอัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลน ซึ่งอัตราการไหลของไฮโดรไซโคลนควรอยู่ในช่วง 0.1 – 7200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.2 การไหลของของเหลวและการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน

ไฮโดรไซโคลนทำงานด้วยแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นภายใน แรงดังกล่าวเกิดจากการหมุนวนซึ่งเกิดขึ้นจากการจ่ายของผสมเข้าไปตามแนวเส้นรอบวงของไฮโดรไซโคลน รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างทั่วไปของไฮโดรไซโคลนที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนที่เป็นทรงกระบอกและมีท่อออกมาจากตัวเรือนไฮโดรไซโคลนด้านบน (overflow) เพื่อให้ น้ำไหลออก (ท่อดังกล่าวเรียกว่า Vortex finder) และส่วนล่างที่เป็นกรวยจะมีช่องเปิดที่ปลายกรวยเพื่อให้อนุภาคของแข็งไหลออกมาที่ทางออกด้านล่าง (Underflow) ของผสมจะจ่ายเข้าทางด้านข้างของไฮโดรไซโคลน ตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง ในทางปฏิบัติช่องทางเข้าของของผสมจะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลภายในไฮโดรไซโคลน



รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลของกระแสนภายในไฮโดรไซโคลน (Puprasert, 2004)

ในส่วนของทรงกระบอกตอนบนมีการไหลอีกแบบหนึ่ง คือ การเคลื่อนที่ของไหลผ่านส่วนปิดด้านบนไปทางผนังของด้านนอกของ Vortex finder จนกระทั่งรวมกับของไหลที่ออกไปยังทางออกด้านบน การไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลลัดวงจร (Short circuit flow) ซึ่งเป็นการไหลของผสมที่ออกมาทางด้านบน โดยไม่ไหลผ่านเข้าไปในตัวของไฮโดรไซโคลน

รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำที่ทางออกในแนวแกนและการไหลในแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลนแบบทั่วไป จากรูปจะเห็นการไหลทางด้านบนเป็นการไหลแบบลัดวงจรอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังมีการไหลวนแบบอื่นเรียกว่า Mantle ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอที่อัตราการไหลคงที่ ในรูปที่ 2.3 จะเห็นเส้นทางการไหลที่แบ่งออกจากกันระหว่างการไหลลงออกจากบริเวณผิวของกรวยและการไหลขึ้นบริเวณภายในใกล้กับ Vortex finder ซึ่ง Mantle ช่วยป้องกันการไหลในแนวรัศมีหลุดผ่านเข้าไปในการไหลที่ผิวหน้าของทรงกระบอก



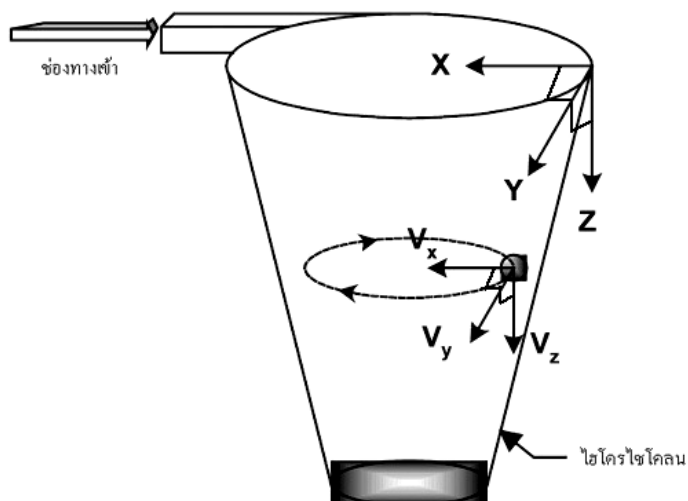
รูปที่ 2.3 เส้นทางไหลของน้ำที่ทางออกในแนวนานและการไหลในแนวรัศมี
ภายในไฮโดรไซโคลนแบบทั่วไป (Svarovsky, 1984)

ลักษณะการไหลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในไฮโดรไซโคลน คือ การเกิดแกนอากาศ (Air core) ที่แกนกลางด้านในไฮโดรไซโคลน การไหลแบบหมุนวนอย่างรุนแรง (Strong vortex) จะสร้างพื้นที่ที่มีความดันต่ำที่แกนกลางของของเหลวที่มีการไหลวนอย่างอิสระภายในทรงกระบอกและเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของไฮโดรไซโคลน โดยที่ถ้าช่องทางออกทั้งสองทางหรือช่องใดช่องหนึ่งถูกเชื่อมต่อโดยตรงออกสู่บรรยากาศ พื้นที่กึ่งกลางในแนวนานของไฮโดรไซโคลนจะดูดอากาศเข้าไปซึ่งเป็นผลให้เกิดเป็นแกนอากาศภายในไฮโดรไซโคลน แกนอากาศนี้เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของการไหลแบบหมุนวน (Vortex) โดยแกนอากาศควรเป็นเส้นตรงและคงที่ตลอดทั้งความยาวของไฮโดรไซโคลน

2.3 ความเร็วของการไหลภายในไฮโดรไซโคลน

ความเร็วของการไหลเกิดจากการจ่ายของผสมเข้าไปภายในไฮโดรไซโคลนตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง ทำให้เกิดความเร็วขึ้นภายในไฮโดรไซโคลน ซึ่งความเร็วของการไหลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3

ชนิด ตามทิศทางของความเร็ว นั้น ๆ คือ ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity) (V_y) ความเร็วในแนวแกน (Axial velocity) (V_z) และความเร็วในแนวรัศมี (Radial velocity) (V_x)



รูปที่ 2.4 ความเร็วของการไหลในไฮโดรไซโคลน (Puprasert, 2004)

2.3.1 ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity) (V_y)

ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง คือ ความเร็วเชิงเส้นของของผสมที่จ่ายเข้าไปบริเวณทางเข้า มีทิศทางสัมผัสกับผิวเส้นรอบวงของไฮโดรไซโคลน ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของรัศมีภายในไฮโดรไซโคลนลดลง ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของของผสมที่จ่ายเข้าที่ทางเข้ากับพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าไฮโดรไซโคลน ดังนี้

$$V_y = \frac{Q}{A_i} \quad (2.1)$$

โดยที่ ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง (V_y) ในไฮโดรไซโคลน สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad \alpha = \frac{V_y}{V_i} \quad (2.2)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad V_y = \alpha \cdot V_i \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ} \quad V_y = \alpha \frac{Q}{A_i} \quad (2.4)$$

เมื่อ α คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วภายในไฮโดรไซโคลน (V_y) กับความเร็วที่ช่องจ่ายเข้า (V_i) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4-0.8 (Bradley, 1965)

จากสมการที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าของไฮโดรไซโคลนลดลง

การจ่ายของผสมตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงของไฮโดรไซโคลน จะทำให้เกิดลักษณะการหมุนวน 2 ประเภท คือ กระแสวนภายนอก (Outer Vortex) ซึ่งจะหมุนวนอยู่ภายนอกในทิศทางลงตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง และ กระแสวนภายใน (Inner Vortex) ซึ่งจะหมุนขึ้นในทิศทางเดียวกันบริเวณใกล้แกนกลางของไฮโดรไซโคลน

Helmoltz's law แสดงถึงการหมุนวนของของไหลแบบอุดมคติ โดยอาศัยหลักการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum)

$$V_y \cdot R = \text{ค่าคงที่} \quad (2.5)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติจะมีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum) ทำให้ได้ค่าน้อยกว่าสมการข้างต้น ดังนั้น

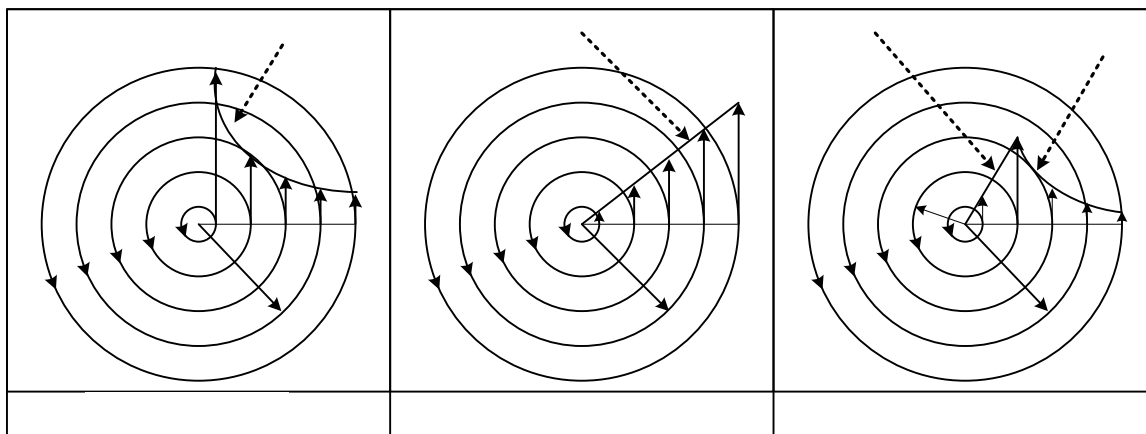
$$V_i \cdot r^n = \text{ค่าคงที่} \quad (2.6)$$

n มีค่าระหว่าง 0.5 - 0.9 ซึ่งเมื่อคิดการไหลที่ไม่มีแรงเสียดทานค่า n จะมีค่าเท่ากับ 1 (Kelsall, 1952 อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) ทั้งนี้โดยทั่วไป n มีค่าระหว่าง 0.5 - 1.0 (Bradley, 1965)

จากสมการที่ 2.5 สามารถอธิบายได้ถึงการหมุนวนภายนอก (Outer Vortex) หรือเรียกว่า Free Vortex ดังแสดงในรูป 2.5(ก) กล่าวคือ เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลดลง ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันสมการที่ 2.6 กล่าวถึงการหมุนวนภายใน (Inner Vortex) หรือเรียกว่า Force Vortex ดังแสดงในรูป 2.5(ข) ที่บริเวณใกล้แกนกลางของไฮโดรไซโคลน

การหมุนวนจะมีทิศทางไหลขึ้น กล่าวคือ เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนเพิ่มขึ้น ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถกล่าวได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{V_y}{R} = \text{ค่าคงที่} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.5 ลักษณะการกระจายความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงทั้ง 3 ประเภท (Puprasert, 2004)

นอกจากนี้ รูปที่ 2.5 ยังแสดงให้เห็น การหมุนวนแบบ (ค) Combined Vortex ซึ่งก็คือสภาพจริงที่เกิดขึ้นภายในไฮโดรไซโคลอน โดยประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอนจะดีที่สุด เมื่ออนุภาคอยู่ในบริเวณใกล้กับตำแหน่งที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงมากที่สุด ดังนั้นจึงควรออกแบบไฮโดรไซโคลอนที่มีมุมกรวยแหลมและยาว เพื่อเพิ่มโอกาสให้อนุภาคเข้าสู่ตำแหน่งที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงมากขึ้น

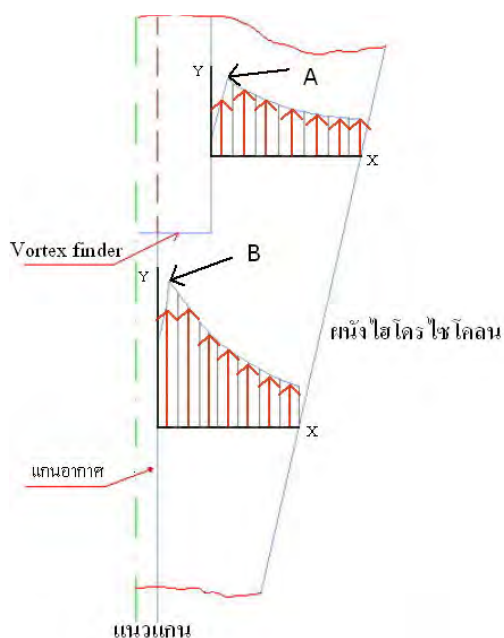
Kelsall, 1952 (อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) ทดลองพบว่าความเร็วสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีการหมุนลดลงเข้าใกล้แกนอากาศ ซึ่ง Kelsall วัดความเร็วสัมผัสโดยทำการทดลองกับน้ำสะอาดที่มีการผสมอนุภาคอลูมิเนียม (Aluminum) หลังจากนั้นใช้กล้องไมโครสโคป (Microscope) วัดตำแหน่งที่มีการโปร่งไสในไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มิลลิเมตร ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 2.6 ทั้งนี้ ผลดังกล่าวเป็นค่าความเร็วเส้นสัมผัสเส้นรอบวงของไฮโดรไซโคลอนหาได้เฉพาะในส่วนที่เป็นกรวย ไม่รวมส่วนที่เป็นทรงกระบอก

จากรูป 2.6 ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity) จะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีการหมุนลดลงตามสมการที่ 2.5 จะเห็นว่าบริเวณรอบ ๆ Vortex finder ไม่สามารถใช้สมการนี้อธิบายได้ จากรูปที่ 2.6 ที่บริเวณเหนือขอบของ Vortex finder มีขนาดรัศมีที่ให้ความเร็วสัมผัสเส้นรอบวง

สูงสุดใหญ่กว่าขนาดรัศมีของ Vortex finder ที่จุด A แต่ที่จุด B จะเป็นตำแหน่งที่ความเร็วสัมผัสสูงสุดน้อยกว่ารัศมีของ Vortex finder

จุด A และ B ต่างเป็นจุดที่มีความเร็วสัมผัสเส้นรอบวงสูงสุด ซึ่งรัศมีจากขอบผนังไซโคลนไปถึงขอบ Vortex finder จะมีตำแหน่งที่มีความเร็วสัมผัสเส้นรอบวงสูงสุดอยู่ที่จุด A และในทำนองเดียวกัน รัศมีจากขอบผนังของไซโคลนไปถึงขอบของแกนอากาศ (Air core) จะมีตำแหน่งที่มีความเร็วสัมผัสเส้นรอบวงสูงสุดอยู่ที่จุด B

จากรูป 2.6 แสดงให้เห็นว่าความเร็วสัมผัสเส้นรอบวงไม่ขึ้นกับตำแหน่งต่างๆในแนวแกนของ Vortex finder

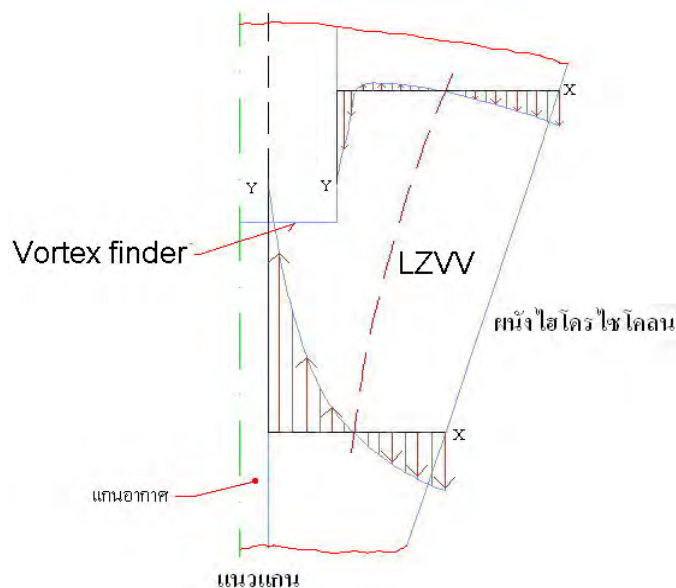


รูปที่ 2.6 ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวง (Tangential velocity) (Svarovsky, 1984)

2.3.2 ความเร็วในแนวแกน (Axial Velocity) (V_z)

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงทิศทางความเร็วในแนวแกนของไฮโดรไซโคลนของการหมุนวนภายนอก (Outer vortex) ที่มีทิศทางลงสู่ทางออกด้านล่างในขณะที่การหมุนวนภายใน (Inner vortex) มีทิศขึ้นไปสู่ทางออกด้านบน จากทิศทางของความเร็วที่สวนทางกันทำให้เกิดตำแหน่งที่มีความเร็วในแนวแกนกับศูนย์ (Locus of Zero Vertical Velocity หรือ LZVV) ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง

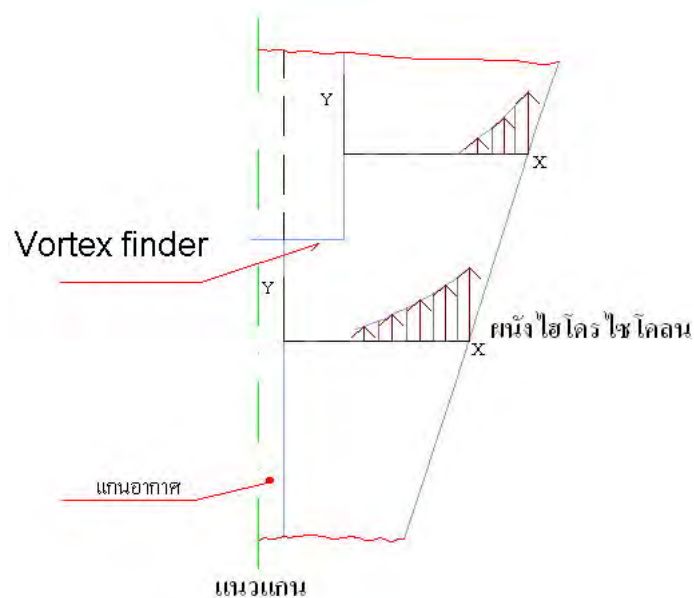
การหมุนวนภายนอก (Outer vortex) และการหมุนวนภายใน (Inner vortex) นอกจากนี้ จากรูปยังเห็นได้ว่าที่บริเวณขอบด้านนอกของ Vortex finder ที่อยู่ส่วนบนของไฮโดรไซโคลนจะมีการเกิดการไหลลัดวงจรขึ้น (Short – circuit flow)



รูปที่ 2.7 ความเร็วในแนวแกนภายในไฮโดรไซโคลน (Axial Velocity) (Svarovsky, 1984)

2.3.3. ความเร็วในแนวรัศมี (Radial Velocity) (V_r)

จากรูปที่ 2.8 แสดงความเร็วตามแนวรัศมีซึ่งเป็นความเร็วที่มีค่าน้อยที่สุดในความเร็วทั้งสามแบบของการไหลภายในไฮโดรไซโคลน โดยความเร็วในแนวรัศมีจะมีทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของไฮโดรไซโคลน จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าบริเวณใกล้เคียงกับขอบผนังของ Vortex finder จะมีค่าความเร็วในแนวรัศมีสูง และความเร็วในแนวรัศมีจะมีค่าสูงที่สุดคือ บริเวณเหนือขอบของ Vortex finder ใกล้ผนังของไฮโดรไซโคลน



รูปที่ 2.8 ความเร็วตามแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน (Radial Velocity) (Svarovsky, 1984)

2.4 ประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน (Separation Efficiency)

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า การแยกของแข็งและของเหลวในไฮโดรไซโคลนไม่สามารถแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากของแข็งที่มีขนาดเล็กหรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถเล็ดลอดออกไปกับน้ำที่ทางออกด้านบน และจะมีของเหลวหลุดออกไปพร้อมของแข็งที่มีขนาดใหญ่หรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นสูงทางออกด้านล่างเสมอ ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดใหญ่ ๆ คือ การแยกของแข็งแขวนลอยต่างสถานะออกจากกันในแง่ของมวล เช่น ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) ประสิทธิภาพลด (Reduce efficiency) และ ประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency) และส่วนที่สองคือ การแยกออกในแง่ของขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดตัด (Cut size)

2.4.1. ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency)

ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) คือ ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยพิจารณาจากสัดส่วนของอนุภาคที่ถูกแยกออกภายในไฮโดรไซโคลนสู่ทางออกด้านล่าง (Underflow) กับอนุภาคของแข็งที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลน (Feed) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$E_T = \frac{M_u}{M} \quad (2.8)$$

โดยที่

$$M = Q_f \times C_f \quad (2.9)$$

$$M_u = Q_u \times C_u \quad (2.10)$$

ถ้าความเข้มข้นของของผสมที่ออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน (Underflow) เท่ากับความเข้มข้นของน้ำที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลอน (Feed) ($C_u = C_f$) แสดงว่าไม่เกิดการแยกอนุภาคภายในไฮโดรไซโคลอน เพียงแต่เกิดการแบ่งการไหล (Flow split) ออกเป็นสองทางเท่านั้นหรืออาจกล่าวได้ว่าไฮโดรไซโคลอนเป็นแค่อุปกรณ์แบ่งการไหลเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลอนควรจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$C_u = C_f \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.8

$$E_T = \frac{M_u}{M} \quad (2.12)$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงไป จะได้ว่า

$$E_T = \frac{Q_u \times C_u}{Q_f \times C_f} = \frac{Q_u}{Q_f} \quad (2.13)$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการแทนค่า $E_T = \frac{Q_u}{Q_f}$ ค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าศูนย์ ทำให้ไม่สามารถแสดง

ประสิทธิภาพในไฮโดรไซโคลอนที่แท้จริงได้ จึงเป็นเหตุให้ต้องมีการคำนึงถึงผลของการแบ่งอัตราการไหล (Flow split) ด้วย

2.4.2. ประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency)

ประสิทธิภาพลดคือ ประสิทธิภาพที่ใช้ในการแยกอนุภาคออกจากกันด้วยไฮโดรไซโคลน โดยคำนึงถึงการแบ่งอัตราการไหล (Flow slitting) ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากจุดประสงค์ของการแยกในไฮโดรไซโคลนนั้นต้องการให้มีปริมาณของของแข็งหรืออนุภาคทั้งหมดไหลออกไปยังทางออกด้านล่างและมีเพียงน้ำใสออกไปยังทางออกด้านบน แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้เพราะจะมีส่วนของของเหลวไหลออกไปยังทางออกด้านล่างด้วยเสมอ ดังนั้นจึงต้องนำสัดส่วนของของเหลวมาคำนวณประสิทธิภาพด้วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) น้อยลงและสะท้อนความเป็นจริงยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้เป็นประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency) ในการบ่งบอกประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลนมากกว่าประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) ประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E'_T = \frac{E_T - R_f}{1 - R_f} \quad (2.14)$$

อัตราส่วนการแบ่งอัตราการไหล สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$R_f = \frac{Q_u}{Q_f} \quad (2.15)$$

ในกรณีที่ $C_u = C_f$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4.1. ค่า E_T จะมีค่าดังแสดงในสมการที่ 2.13

แทน $E_T = \frac{Q_u}{Q_f}$ ในสมการที่ (2.13) พบว่า

$$E'_T = \frac{E_T - E_T}{1 - E_T} \quad (2.16)$$

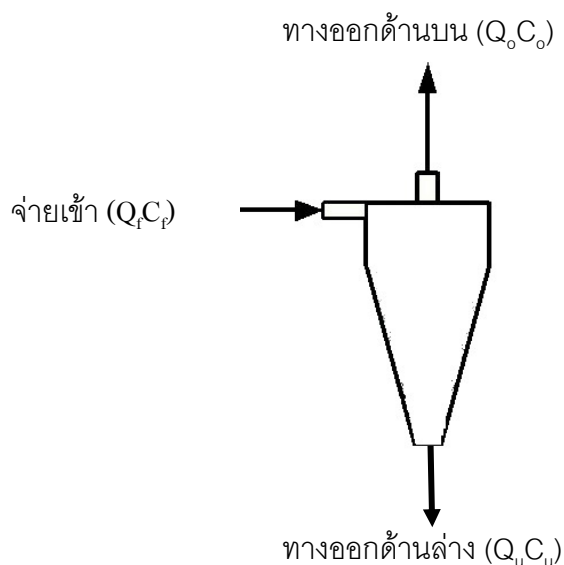
ดังนั้นในการคำนวณประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนควรใช้การคำนวณหาประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency) แทนการใช้ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) เพื่อการคำนวณที่ถูกต้องกว่า

2.4.2.1. ประสิทธิภาพลดของไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา

ในการหาประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็งแบบธรรมดา สามารถคำนวณได้จากสมดุลมวล (Mass balance)

จากสมดุลมวลของของไหลในไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา ดังรูปที่ 2.9 จะได้ว่า

$$Q_f C_f = Q_o C_o + Q_u C_u \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.9 ทิศทางการไหลเข้าออกของของไหลในไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา

จากสมการที่ (2.14) เมื่อแทนค่า $E_T = \frac{M_u}{M} = \frac{Q_u C_u}{Q_f C_f}$ และ $R_f = \frac{Q_u}{Q_f}$ ลงในสมการ จะได้

ว่า

$$E'_T = \frac{Q_u (C_u - C_f)}{C_f (Q_f - Q_u)} \quad (2.18)$$

ซึ่ง อัตราการไหลออกด้านบนจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลเข้าลบอัตราการไหลออกด้านล่าง

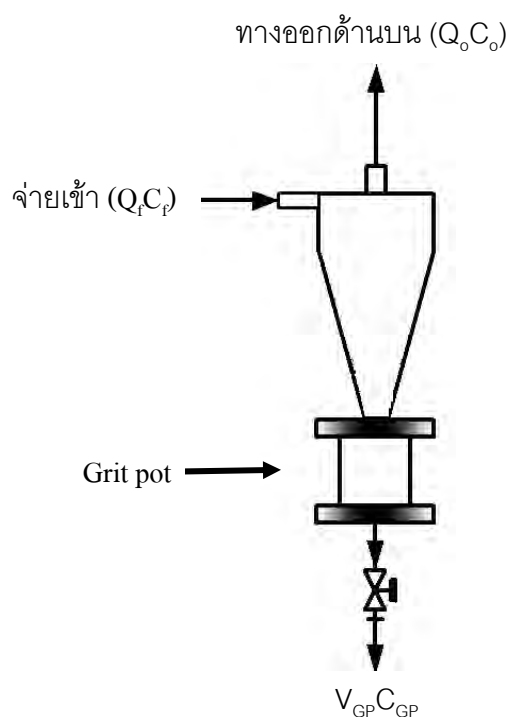
$$Q_o = Q_f - Q_u \quad (2.19)$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพในการแยกของแข็ง (Solid separation efficiency, %SE) สำหรับไฮโดรไซโคลอนแบบธรรมดา หรือ ประสิทธิภาพลดของไฮโดรไซโคลอน E'_T แสดงได้ดังสมการ

$$E'_T = \frac{Q_u (C_u - C_f)}{Q_o C_f} \times 100 \quad (2.20)$$

2.4.2.2. ประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอต

ในการหาประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็งในไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอต สามารถหาได้จากสมดุลมวล (Mass balance) เช่นกัน



รูปที่ 2.10 ทิศทางการไหลเข้าออกของของไหลในไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอต

จากสมมูลมวลของของไหลในไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท ดังรูปที่ 2.10 จะได้ว่า

$$Q_f C_f T = Q_o C_o T + V_{GP} C_{GP} \quad (2.21)$$

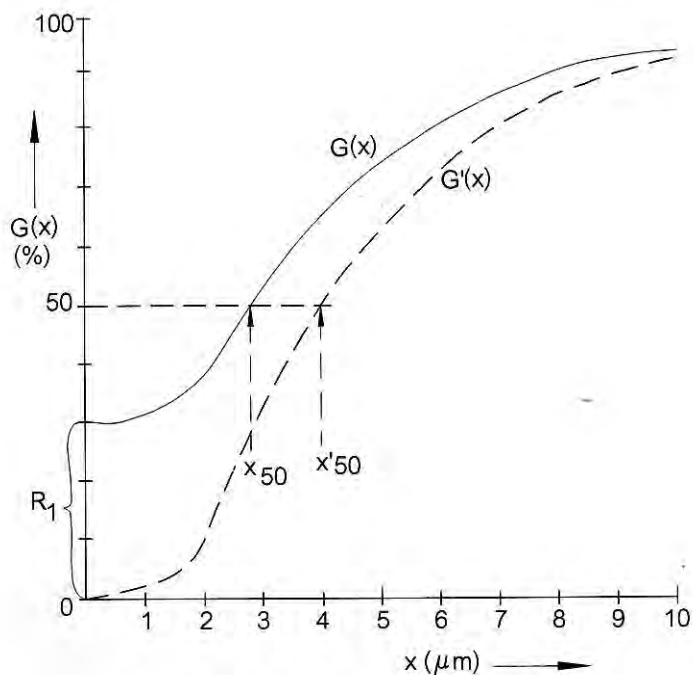
$$\text{เมื่อ } V_{GP} C_{GP} = Q_f C_f T - Q_o C_o T$$

ดังนั้นประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็ง (Solid separation efficiency, %SE) สำหรับไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท หรือ ประสิทธิภาพรวม (E_T) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$E_T = \frac{Q_f C_f T - Q_o C_o T}{Q_f C_f T} \times 100 \quad (2.22)$$

2.4.3. ประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency)

ประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency) มีความหมายคล้ายคลึงกับประสิทธิภาพรวมในหัวข้อที่ 2.4.1 แตกต่างกันว่าประสิทธิภาพรวมจะหมายถึงประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคเพียงขนาดเดียว แต่ประสิทธิภาพระดับชั้นนำค่าประสิทธิภาพของทุกขนาดมาเขียนเป็นกราฟเรียกว่าเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) บางครั้งอาจเรียกว่า เส้นโค้งความน่าจะเป็นในการแยกขนาดอนุภาค (Probability curve) หรือ Tromp curve โดยปกติเส้นโค้งส่วนใหญ่จะให้ป็นรูปตัวเอส (S) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) (Svarovsky, 1984)

เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) สร้างได้จากการทดลอง 2 วิธี คือ การจ่ายของแข็งที่มีชนิดและขนาดอนุภาคเดียว (Monosized solids) เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนหลาย ๆ ครั้ง หรืออีกวิธีหนึ่งซึ่งประหยัดกว่าและเร็วกว่าการทดลองวิธีแรก คือ การจ่ายของแข็งที่มีอนุภาคหลายขนาด (Poly - disperse material) ที่มีช่วงขนาดอนุภาคเท่ากับที่ต้องการจ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนเช่นกัน ทั้งสองวิธีต้องมีการวัดและทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพรวมของอนุภาคแต่ละขนาด ในกรณีที่สองจะต้องมีการนำเอาการกระจายอนุภาคขนาดต่าง ๆ ของการไหลออกสู่ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบนเพื่อไปวิเคราะห์ด้วย

ดังนั้นการไหลทั้ง 3 ทิศทาง จะต้องเป็นไปตามหลักในการทำสมดุลมวล (Mass balance) รอบไฮโดรไซโคลน

สมการพื้นฐานของประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency, $G(x)$) สามารถคำนวณได้จากทางออกด้านล่าง (Underflow, F_u) ทางออกด้านบน (Overflow, F_o) และที่ทางเข้า (Feed, F_f) กับทางออกด้านล่าง (Underflow, F_u) ดังนี้

$$G(x) = E'_T \cdot \frac{dF_u(x)}{dF_r(x)} \quad (2.23)$$

$$G(x) = 1 - (1 - E_T) \cdot \frac{dF_o(x)}{dF_r(x)} \quad (2.24)$$

$$G(x) = 1 + \left(\frac{1}{E_T} - 1 \right) \cdot \frac{dF_o(x)}{dF_u(x)} \quad (2.25)$$

จากสมการข้างต้นทั้ง 3 สมการสามารถคำนวณหรือแสดงผลของประสิทธิภาพระดับชั้น (ในแต่ละขนาดของอนุภาค) ออกมาได้ในรูปแบบของกราฟ ซึ่งการแสดงผลในรูปแบบของกราฟจะมีความแม่นยำมากกว่าการคำนวณ

ในการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพระดับชั้น ของแข็งที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนจะต้องเป็นชนิดเดียวกันและควรเลือกใช้วัสดุที่ไม่เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Non - flocculating) และต้องกระจายตัวออกจากกันได้ง่าย (Easily dispersed)

2.4.4. ประสิทธิภาพระดับชั้นที่ลดลง (Reduced grade efficiency)

ประสิทธิภาพระดับชั้นที่ลดลง (Reduced grade efficiency) จะคำนึงถึงผลที่ได้จากการแบ่งอัตราการไหล (Flow splitting) เช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.2 จากรูปที่ 2.11 เป็นแสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) ไม่ได้เริ่มต้นที่จุดกำเนิด แต่จะเริ่มจากจุดของอนุภาคที่ไหลผ่านออกไปยังทางออกด้านล่าง (R_f) นั่นคือ มีการนำอัตราส่วนที่อนุภาคไหลออกทางด้านล่าง (Flow split) มาคิดด้วย

ประสิทธิภาพระดับชั้นที่ลดลง (Reduced grade efficiency) ในแต่ละขนาดอนุภาค หาได้จาก

$$G'(x) = \frac{G(x) - R_f}{1 - R_f} \quad (2.26)$$

เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้นยังเป็นการอธิบายที่ค่อนข้างกว้างในแง่ของประสิทธิภาพการแยกอนุภาคตามขนาดของอนุภาค ในทางปฏิบัติการหาประสิทธิภาพดังกล่าวจะใช้ค่าเพียงค่าเดียวคือขนาดตัด (Cut size) วิธีการหาและความหมายของขนาดตัดแสดงอยู่ในหัวข้อต่อไป

2.4.5. ขนาดตัด (Cut size)

ขนาดตัดของไฮโดรไซโคลอนคือ ขนาดอนุภาคที่ไฮโดรไซโคลอนแยกได้ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ขนาดตัดสามารถหาได้จากขนาดของอนุภาคที่อยู่บนเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) ดังนั้นขนาดตัดจึงเป็นตัววัดประสิทธิภาพในแง่ของขนาดอนุภาคที่ถูกแยกออกด้วยไฮโดรไซโคลอน โดยเทียบกับเส้นโค้ง Grade efficiency กับขนาดของอนุภาค เรียกว่า x_{50} (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์วงศ์ และคณะ, 2543) มีบางไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ขนาดถึง 95 เปอร์เซ็นต์ (95% size) เป็นขนาดตัด แต่โดยทั่วไปมักยอมรับที่ขนาด 50 เปอร์เซ็นต์ (50% size) ของเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) หรือเรียกว่า Equiprobable size คือ ขนาดอนุภาคที่มีโอกาส 50 เปอร์เซ็นต์ ที่จะถูกแยกออก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอนุภาคที่ถูกแยกออกจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่และ/หรือหยาบ ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กและ/หรือละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า Equiprobable size x_{50} จะไหลออกไปยังทางออกด้านบน

จากรูปที่ 2.11 ตำแหน่ง x_{50} (ขนาดอนุภาคที่ให้ประสิทธิภาพ 50 เปอร์เซ็นต์) เป็นตำแหน่งที่ได้จากเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น และที่ตำแหน่ง x'_{50} (ขนาดอนุภาคที่ให้ประสิทธิภาพ 50 เปอร์เซ็นต์) เป็นตำแหน่งที่ได้จากเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้นที่ถูกลดลง (Reduced grade efficiency curve)

วิธีการหา x_{50} คือ การเขียนกราฟระหว่างอนุภาคขนาดต่าง ๆ กับประสิทธิภาพรวม ซึ่งนำไปสู่การหาขนาดตัดได้จากสมการ ดังนี้

$$\frac{d}{dx} (F_r - 2E_T - F_u) = 0 \quad (2.27)$$

$$\frac{d}{dx} [F_r - 2(1 - E_T) \cdot F_o] = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{d}{dx} \left[F_u - \left(\frac{1 - E_T}{E_T} \right) \cdot F_o \right] = 0 \quad (2.29)$$

การวิเคราะห์ขนาดตัด (Cut size analytical) (x_a) คือ การหาขนาดของอนุภาคที่ถูกแยกอย่างอุดมคติ รวมไปถึงการหาขนาดอนุภาคที่เป็นสัดส่วนกับประสิทธิภาพรวม (total efficiency, E_T) ซึ่งคล้ายกับช่องตะแกรงในอุดมคติที่จะสามารถแยกสัดส่วนของ E_T ของการจ่ายของแข็งเข้าไปให้ได้ อนุภาคขนาดใหญ่ (coarse product) เป็นต้น

$$F(x_a) = E_T \quad (2.30)$$

จากสมการที่ 2.30 จะเห็นได้ว่า x_a คือ ขนาดของอนุภาคขนาดต่างกันปะปนกันอยู่ในไฮโดรไซโคลอนในสัดส่วนปริมาณที่เท่ากันของอนุภาคขนาดหยาบและอนุภาคขนาดละเอียด สมการนี้จะเหมือนกับการนำเสนอของ Jowett (อ้างถึงใน svarovsky, 1984) ภายใต้ขนาดตัดที่ใช้การวิเคราะห์ (Analytical cut size) แบบเชิงเลข จะเท่ากับ Equiprobable size x_{50} โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในความเป็นจริง (ยกเว้นประสิทธิภาพรวมมีค่าประมาณ 50%)

ขนาดตัดอื่น ๆ สามารถหาได้จาก

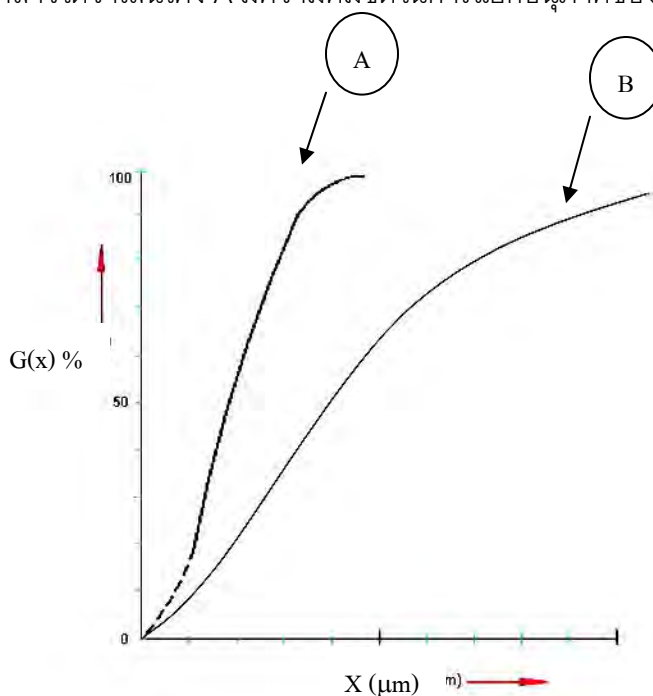
$$F_u(x_i) = 1 - F_r(x_i) \quad (2.31)$$

2.4.6. ความคมชัด (Sharpness) ในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอน

ความคมชัดของการคัดแยกขนาดอนุภาคสามารถดูได้จากความชันของเส้นโค้ง Grade efficiency การเปรียบเทียบของความคมชัดในการคัดแยกขนาดทั่วไป (Classification sharpness) สามารถสร้างขึ้นจากการเปรียบเทียบของรูปร่างของเส้นโค้ง Grade efficiency ดังนั้นเมื่อเส้นโค้ง Grade efficiency ที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันหลายค่าจะทำให้เส้นโค้งมีความชันต่ำลง นั่นคือมีความคมชัดในการแยกอนุภาคน้อย

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเส้นประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency) มีความชันมากขึ้นความคมชัดก็จะชัดเจนยิ่งขึ้น และจะเห็นได้ชัดที่เส้นโค้ง A มีความคมชัดมากกว่าเส้น

โค้ง B หรืออาจกล่าวได้ว่าเส้นโค้ง A มีความคมชัดในการแยกอนุภาคของแข็งในแง่ของขนาดสูงกว่าเส้นโค้ง B



รูปที่ 2.12 ความคมชัด (Sharpness) ในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอน (Svarovsky, 1984)

จากกราฟ $G(x)$ กับเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดอนุภาค (x) ถ้าเส้นโค้งมีความชันไม่มากหรือไม่ชัดเจน การหาความคมชัดในการคัดแยกอนุภาคต้องใช้การประมาณค่าเฉลี่ย

การหาความคมชัด (Sharpness) ในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนสามารถหาได้จาก เส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency, $G(x)$) อาจกล่าวได้ว่า อัตราส่วนของขนาดอนุภาคสองขนาดจะสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันบนเส้นโค้งประสิทธิภาพระดับชั้น (Grade efficiency curve) (Eder, 1961 อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) เช่น

$$H\left(\frac{25}{75}\right) = \frac{x_{25}}{x_{75}} \quad (2.32)$$

2.5 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลน

2.5.1. ขนาดของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone size)

เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ในส่วนทรงกระบอกในตัวเรือนไฮโดรไซโคลนเป็นตัวแปรในการออกแบบเบื้องต้น นอกจากนี้ขนาด (Dimensions) ของส่วนอื่น ๆ ในไฮโดรไซโคลน จะมีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางดังกล่าวด้วย ในแง่ของประสิทธิภาพ พบว่าที่ความดันลด (Pressure drop) เดียวกันและไฮโดรไซโคลนที่มีรูปร่างคล้ายกันนั้น ขนาดตัด (Cut size) จะลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลดลง

เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนวัดที่ฐานของส่วนที่เป็นส่วนกรวยหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน (ในแง่ของขนาดตัด) กับขนาดของไฮโดรไซโคลน แสดงได้ดังสมการ (Svarovsky, 1984) ต่อไปนี้

$$x_{50} \sim D^{\left(\frac{1}{2+n_p}\right)} \quad (2.33)$$

เมื่อ n_p คือ ค่าคงที่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามการออกแบบโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 0.0375

เลขแสดงกำลัง (Exponent) หรือค่า $\left(\frac{1}{2+n_p}\right)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.42 - 0.5

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนในแง่ของขนาดตัด (Cut size) โดยให้อัตราการไหลคงที่ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัด (x_{50}) และความดันลด (ΔP) ที่มีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน (D) เป็นดังนี้

$$x_{50} \propto D^x \quad (2.34)$$

$$\Delta P \propto D^y \quad (2.35)$$

โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง 1.36 ถึง 1.52 และมีค่า y อยู่ระหว่าง -3.6 ถึง -4.1 จะเห็นว่า ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนขนาดเล็ก ๆ จะทำให้ได้ขนาดอนุภาคที่แยกออกมาได้เล็กลงตามไปด้วย และเมื่อไฮโดรไซโคลอนขนาดใหญ่ขึ้น ค่าความดันลดมากขึ้นเช่นกัน

ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.34 และ 2.35 นั้น เป็นการกล่าวถึงการเปรียบเทียบเมื่ออัตราการไหลคงที่ ตามปกติแล้วสามารถใช้ไฮโดรไซโคลอนหลาย ๆ ตัวต่อกันโดยให้อัตราการไหลเท่ากันภายใต้สภาวะความดันคงที่ ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนที่ความดันลด (Pressure drop) คงที่ เป็นดังนี้

$$Q \propto D^z \quad (2.36)$$

โดยที่ z มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 2.0

และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัด (x_{50}) และเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนที่ความดันลดคงที่ เป็นดังนี้

$$x_{50} \propto D^x \quad (2.37)$$

โดยที่เลขยกกำลัง (x) ในสมการที่ 2.34 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.41 ถึง 0.5

จะเห็นว่าไฮโดรไซโคลอนขนาดเล็กจะให้ขนาดตัดที่ต่ำกว่าและมวลที่แยกออกไปที่ทางออกด้านล่าง (Underflow) สูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการแยกของแข็งจะมีค่าสูงด้วย

2.5.2. ขนาดและรูปร่างของช่องการไหล (Aperture diameter)

ขนาดและรูปร่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหลมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนมาก ช่องการไหลของไฮโดรไซโคลอนจะประกอบด้วย ช่องจ่ายเข้า (Feed) ช่องทางออกด้านบน (Overflow) และช่องทางออกด้านล่าง (Underflow) ผลของขนาดและรูปร่างช่องการไหลทั้ง 3 ทาง แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.2.1 ขนาดและรูปร่างของทางเข้า (Inlet size and Shape, D_i)

ขนาดของช่องจ่ายเข้า (D_i) ควรทำให้ค่าโมเมนต์มุม (QV) ของการไหลเข้ามีค่าสูงสุด เพื่อให้ความเร็วเฉลี่ยที่ทางเข้าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับความเร็วสัมผัส (Tangential velocity) ที่รัศมีเฉลี่ยของทางเข้า (Mean radius of entry) ดังนั้นการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางจ่ายเข้า จะทำให้โมเมนต์มุมเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วจึงลดลง ดังนั้นในการออกแบบขนาดช่องทางจ่ายเข้าจึงควรเลือกช่วงที่มีค่าโมเมนต์มุมสูงสุด (Bradley, 1965)

การออกแบบขนาดของทางเข้าไฮโดรไซโคลอนมีความสำคัญ เนื่องจากจะส่งผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ (Capacity) ประสิทธิภาพการแยกอนุภาค (Separation efficiency) และความดันลด (Pressure drop) ของไฮโดรไซโคลอน การออกแบบทางเข้าในแนวสัมผัสเส้นรอบวงต้องระวังไม่ให้น้ำที่ไหลเข้ามาในไฮโดรไซโคลอนส่งผลกระทบต่อ Vortex finder เพราะจะทำให้เกิดการปั่นป่วนและทำให้เกิดการสึกกร่อนที่มากเกินไป

Chaston, 1958(อ้างถึงใน Bradley, 1965) ศึกษาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของทางเข้า ค่าที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ $\frac{D}{6}$ ถึง $\frac{D}{7}$

2.5.2.2. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow diameter, D_o)

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบนส่งผลต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนใน 2 ลักษณะคือ

1. การไหลลัดวงจร (Short circuit flow) คือ การไหลผ่านช่วงบนของไฮโดรไซโคลอนไปยังทางออกด้านบนหรือ Vortex finder โดยที่ไม่ผ่านเข้าสู่การหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลอน

การไหลลัดวงจรเป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (D_o) ถ้าขนาดด้านนอกของช่องทางออกด้านบน มีขนาดใหญ่กว่าตำแหน่งที่มีความเร็วสัมผัสสูงสุด ($V_{y,max}$) อนุภาคที่อยู่ในเส้นทางการไหลลัดวงจร จะไหลกลับเข้ามาในบริเวณของการเพิ่มความเร็วสัมผัสภายในไฮโดรไซโคลอน ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ไปตามผนังของ Vortex finder และมีโอกาสที่จะไหลย้อนกลับเข้าสู่กระบวนการแยกอนุภาคอีกครั้ง ในทางตรงกันข้ามถ้าขนาดของช่องทางออกด้านบนมีขนาดเล็กกว่าตำแหน่งความเร็วสัมผัสสูงสุด โอกาสที่อนุภาคไหลย้อนกลับไปยังการหมุนวนในไฮโดรไซโคลอนก็จะน้อยลงไปด้วย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านบนมีขนาดเล็กลง ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอนก็มีค่าน้อยลงด้วย

2. ถ้าขนาดของช่องทางออกด้านบน (D_o) มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง LZVV (Locus of Zero Vertical Velocity) จะทำให้เกิดการไหลออกไปทางด้านบนโดยไม่เข้าสู่กระบวนการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลนเป็นเหตุให้เกิดการไหลลัดวงจร

Kelsall, 1953(อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) พบว่าประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคขนาด

หยาบจะลดลงเมื่อ $D_o = \frac{D}{12}$ หรือที่เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก Vortex finder มีค่าเท่ากับ $\frac{D}{6}$

Bradley และ Pulling, 1959 (อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบนที่ใหญ่ที่สุดไม่ควรมีขนาดใหญ่กว่าเส้น LZVV ซึ่ง LZVV เป็นบริเวณที่มีความเร็วเป็นศูนย์โดยมีขนาดประมาณ 0.43 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน ($0.43D$) เป็นเหตุให้ลักษณะการไหลที่ควรเป็นตามปกติ คือ การไหลลงด้านล่างผ่านตัวเรือนไฮโดรไซโคลนตามแนวรัศมีออกไปทางออกด้านล่างลดลง ซึ่งทำให้มีอนุภาคไหลลัดวงจรแยกออกไปทางด้านบนมากขึ้น

Bradley, 1965 แนะนำอีกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านบนที่มากที่สุดและ

น้อยที่สุด สามารถพิจารณาได้จากลักษณะการไหล โดยค่ามากที่สุดเท่ากับ $\frac{D}{2.3}$ ค่าน้อยที่สุดเท่ากับ

$\frac{D}{8}$ ค่าที่ทำให้มีปริมาณอนุภาคขนาดใหญ่ออกที่ช่องทางออกด้านบนน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ $\frac{D}{7}$ และ

ขนาดช่องทางออกด้านบน (D_o) ควรจะใหญ่กว่าช่องทางจ่ายเข้า (D_i) หรืออาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ $D_o = D_i$ ถึง $1.6D_i$ เพื่อป้องกันการกีดเซาะของผนังไฮโดรไซโคลนจากการจ่ายของไหลเข้าสู่กระบวนการ

ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสามแสดงดังสมการที่ 2.38

$$2D_i + D_o = 0.4 - 0.6D \quad (2.38)$$

และความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก

$$2D_i + D_o = 0.35 - 0.7D \quad (2.39)$$

Rietema (Rietema, 1961) เสนอให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบนควรมีค่าประมาณ 0.16D ถึง 0.5D และค่าที่เหมาะสม เท่ากับ 0.34D

2.5.2.3. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow diameter, D_u)

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแปรผันขนาดได้ หรือเป็นลักษณะที่ปรับเปลี่ยนได้ เพื่อควบคุมอัตราการไหลออกด้านล่าง ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างจึงขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานมากกว่าที่จะกำหนดเป็นค่าตายตัว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน (D_u) โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง $\frac{D}{10}$ ถึง $\frac{D}{5}$ และเมื่ออยู่ในสภาวะความดันคงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (D_u) ควรจะมีค่า

เท่ากับ $\frac{D_o}{3}$ เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (D_o) มีค่าเท่ากับ $\frac{D}{5}$ เพื่อรักษาอัตราส่วน

ระหว่างอัตราการไหลเข้า (Feed flowrate, Q_f) กับอัตราการไหลออกที่ช่องทางออกด้านล่าง

(Underflow flowrate, Q_u) $\left(\frac{Q_f}{Q_u} = \frac{1}{R_f} \right)$ ให้มีค่าประมาณ 10 เปอร์เซนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ทางออกด้านล่างอาจถือได้ว่าไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอนหรืออาจมีผลกระทบเพียงเล็กน้อย

Kelsall, 1953 (อ้างถึงใน Bradley, 1965) พบว่าประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนจะลดลงเล็กน้อยเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (D_u) ลดลง ในขณะที่เดียวกันก็จะส่งผลกระทบเล็กน้อยต่อความดันลดสำหรับไฮโดรไซโคลอนขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดช่องทางต่าง ๆ ใหญ่ขึ้นตามไป ส่วนไฮโดรไซโคลอนขนาดเล็กจะได้รับผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง

ทางออกด้านล่าง (D_u) ให้มีค่าประมาณ $\frac{D}{7}$

ดังนั้นสามารถสรุปผลของทางออกทั้ง 3 ด้าน ในรูปเชิงคณิตศาสตร์ ที่มีต่อไฮโดรไซโคลอนดังนี้

$$D > 2D_i + D_o + 2t \quad (2.40)$$

2.5.3. ความยาวและรูปร่างของ Vortex finder (Vortex finder length and shape)

Vortex finder คือ ช่องทางที่ให้น้ำใสไหลออกทางด้านบน (Overflow) และใช้เพื่อป้องกันการไหลล้นด้วย โดยอนุภาคที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลอนจะเคลื่อนลงตามผนังด้านนอกของ Vortex finder เข้าสู่ตัวเรือนไฮโดรไซโคลอน ดังนั้นความยาวของ Vortex finder จึงมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยก

อนุภาคภายในไฮโดรไซโคลอนในแง่ของขนาดตัด (x_{50}) โดยการเพิ่มความยาว Vortex finder ทำให้อนุภาคมีเวลาในการแยกออกจากกันในไฮโดรไซโคลอนเพิ่มขึ้นและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคขนาดหยาบ ในขณะที่เดียวกันก็จะเป็นการลดประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคขนาดละเอียดที่ควรไหลออกไปยังทางออกด้านบนกับน้ำใส แต่ได้มีการไหลย้อนกลับออกไปยังทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนลดลง ดังนั้นความยาวของ Vortex finder ควรจะมีขนาดที่เหมาะสมและขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดของกลุ่มอนุภาคที่จ่ายเข้าไปและจุดตัด (Cut – point) ซึ่งสัมพันธ์กับการกระจายตัวของขนาดนั้น ๆ

เนื่องจากความยาวของ Vortex finder ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคภายในไฮโดรไซโคลอนในแง่ของขนาดตัด (x_{50}) ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวของ Vortex finder ลดลง และขนาดตัดจะต่ำที่สุดเมื่อไม่มี Vortex finder ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคขนาดใหญ่ลดลงหรือแยกได้ไม่ดีเท่าที่ควร อาจจะทำให้กล่าวได้ว่าอนุภาคขนาดใหญ่ดังกล่าวจะไหลออกไปที่ทางออกด้านบน (Overflow) โดยเส้นทางการไหลลัดวงจร

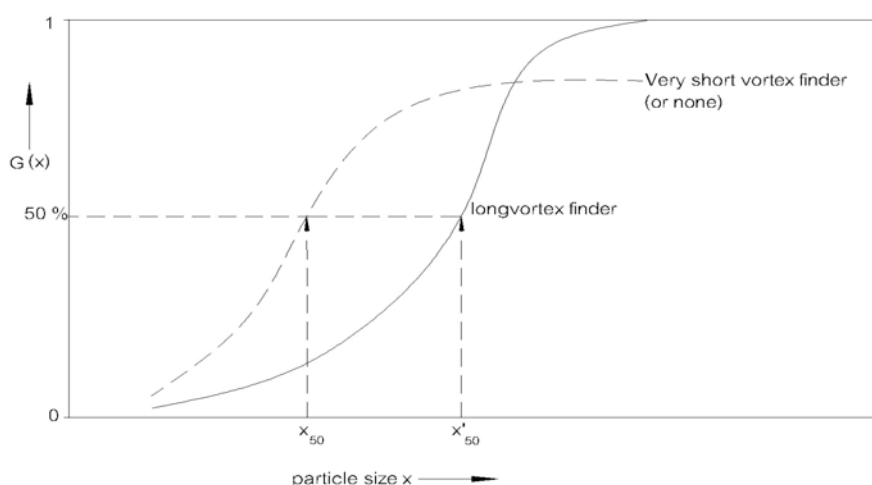
จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นแนวคิดที่ทำให้เกิดการทดลองขึ้นโดยใช้ไฮโดรไซโคลอนที่แตกต่างกันโดยไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ในโรงงานมีขนาดใหญ่กว่าไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ในการทดลอง ไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ในโรงงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 24 นิ้ว ได้ทำการแยกของผสมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีความดันต่ำ จากการทดสอบผลที่ได้ตรงกันข้ามกับไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ในการทดลอง และพบว่า ความยาวของ Vortex finder ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอน ทำให้กล่าวได้ว่า การที่อนุภาคไหลออกจากเส้นการไหลลัดวงจรออกมาสู่การไหลแบบปกติในไฮโดรไซโคลอนได้นั้นเนื่องจากการตกลงของอนุภาคด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

Bradley, 1965 พบว่า Vortex finder ที่ยาวขึ้นทำให้ขนาดตัดมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.13 ความยาวที่เหมาะสมสำหรับ Vortex finder, l ควรมีค่าเท่ากับ $\frac{D}{3}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ Vortex finder ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน $D_u - 2D_i$

ในขณะที่ Reitema (อ้างถึงใน Bradley, 1965) พบว่าความยาวที่เหมาะสมของ Vortex finder คือ $l = 0.4D$ หรือในการออกแบบทั่วไปอาจจะให้ความยาวของ Vortex finder มีค่าเท่ากับ 0.3 ถึง $1D$ (ความยาวของ Vortex finder คูณด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอน) และความหนาของผนัง Vortex finder ไม่ควรเกิน $\frac{1}{10}$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของ Vortex finder

Bradley, 1965 ศึกษาถึงรูปร่างที่ต่างกันของ Vortex finder พบว่าค่าที่เหมาะสมของความยาว Vortex finder โดยทั่วไปแล้วจะให้มีระยะตามแนวแกนของไฮโดรไซโคลอนให้เพียงพอระหว่าง

ระดับห้องของช่องจ่ายเข้า (Feed) กับส่วนปลายของ Vortex finder โดยที่ส่วนปลายของ Vortex finder ไม่ควรอยู่ในระดับเดียวกับห้องจ่ายเข้า (Inlet) ไฮโดรไซโคลน และไม่ควรรู้อยู่ใกล้บริเวณหน้าตัดที่เป็นรอยต่อระหว่างส่วนทรงกระบอกและทรงกรวย เนื่องจากที่บริเวณนี้มีการกระจายที่ปั่นป่วนอาจทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่ไหลปนออกไปกับน้ำใสที่ทางออกด้านบน (Overflow) ได้



รูปที่ 2.13 ผลของความยาวของ Vortex finder ต่อ Grade efficiency และขนาดตัด
(Svarovsky, 1984)

2.5.4. ความยาวและมุมของไฮโดรไซโคลน (Cyclone length and angle)

ปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ (Capacity) ของไฮโดรไซโคลนส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน โดยปกติการเพิ่มความยาวของไฮโดรไซโคลนจะสามารถเพิ่มอัตราการบำบัดน้ำของไฮโดรไซโคลนได้ Bradley, 1965 พบว่าค่าที่เหมาะสมในการออกแบบความยาวของไฮโดรไซโคลน คือ 2.7D ถึง 7.7D (Bradley, 1965)

Dahlstrom, 1949 (อ้างถึงใน Bradley, 1965) กล่าวไว้ว่า การเพิ่มความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน คือ การเพิ่มความยาวของส่วนกรวยหรือการลดมุมกรวยของไฮโดรไซโคลนอย่างไรใด

อย่างหนึ่งนั้น ทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ (Capacity) และประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคเพิ่มขึ้น

Dahlstrom, 1949 (อ้างถึงใน Bradley, 1965) แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคโดยการเพิ่มความยาวที่อัตราไหลเดียวกัน โดยประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจากการลดมุมกรวยจาก 45° เป็น 15°

Rietema, 1982 (อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) กล่าวว่าสัดส่วนระหว่างส่วนของทรงกระบอกกับส่วนกรวยไม่ควรมีมากเกินไป และความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลนควรมีค่าประมาณ 5D (5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน) และควรมีมุมกรวยเล็กกว่า 30°

Svarovsky, 1984 กล่าวว่าไว้ว่า ในการออกแบบไฮโดรไซโคลน มุม (angle) ของกรวยมีความสำคัญเช่นกัน คือ เมื่อลดมุมลงจะส่งผลให้ขนาดตัดลดลงด้วย อย่างไรก็ตามข้อดีของการมีมุมที่กว้างคือ จะทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคน้อยลง นอกจากนี้ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางแกนอากาศเพิ่มขึ้นด้วย โดยทั่วไปมุมของไฮโดรไซโคลนควรมีค่าประมาณ 6° ถึง 25°

มีการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคระหว่างไฮโดรไซโคลนที่มีมุมกรวย 9° และ 20° ที่ความยาวของไฮโดรไซโคลน $9 \frac{9}{16}$ นิ้ว $19 \frac{3}{8}$ นิ้ว และ $19 \frac{5}{6}$ นิ้ว พบว่าที่อัตราการบำบัดเดียวกันไฮโดรไซโคลนที่ยาวกว่าจะลดค่าความดันลด (Pressure drop) ลงครึ่งหนึ่ง ในทางกลับกันถ้ามีการเพิ่มมุมกรวยจาก 9° เป็น 20° โดยให้มีความยาวทั้งหมดเท่าเดิม พบว่าการเปลี่ยนมุมกรวยไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความดันลด (Pressure drop) ต่อปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ (Capacity) ของไฮโดรไซโคลนแต่อย่างใด

Bradley, 1960 (อ้างถึงใน Bradley, 1965) ทำการเปรียบเทียบขนาดของมุมไฮโดรไซโคลนระหว่างไฮโดรไซโคลน 9° กับ ไฮโดรไซโคลน 20° พบว่า ที่ไฮโดรไซโคลน 20° ได้ให้ขนาดตัด (x_{50}) เล็กกว่าที่อัตราการไหลเดียวกัน จากความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและอัตราการไหล และจากการสังเกตค่า x_{50} ที่เปลี่ยนไป พบว่า ที่ความดันลดที่กำหนดไว้ นั้น ไฮโดรไซโคลน 9° จะให้ปริมาณอัตราการจ่ายของผสมเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนสูงกว่าโดยมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคเท่ากัน ทำให้อธิบายได้ว่า การเปลี่ยนมุมกรวยในช่วง 9° ถึง 20° ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคที่ความดันลดเดียวกัน

ขนาดมุมกรวยและความยาวของไฮโดรไซโคลนเป็นตัวแปรที่ค่านึงถึงน้อยที่สุดในการออกแบบ เนื่องจากไม่มีผลสรุปแน่นอนของผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคจากการ

เปลี่ยนความยาวและมุมกรวยของไฮโดรไซโคลน แต่มุมกรวยที่แหลมจะให้ปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ (Capacity) สูงและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคอีกด้วย

2.5.5. แกนอากาศ (Air core)

จากงานวิจัยของนักวิจัยชาวรัสเซีย(อ้างถึงใน Svarovsky, 1984) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางแกนอากาศกับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{D_a}{D} = \frac{D^*}{D} \sqrt[3]{\frac{\rho v_i^2}{3\Delta p}} \quad (2.41)$$

กฎของสโตค (Stokes's law)

แรงสำคัญทำให้เกิดการแยกของอนุภาคภายในไฮโดรไซโคลน คือ แรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการหมุนของกระแสวน ดังนั้นแรงหนีศูนย์กลางจะมีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งหนีศูนย์กลาง

$$F = \frac{mV_y^2}{R} \quad (2.42)$$

ประสิทธิภาพการแยกในไฮโดรไซโคลน ขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหลเข้าไฮโดรไซโคลน การเพิ่มความเร็วของการไหลเข้าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน ปรัชญาการแยกของแข็งในไฮโดรไซโคลนสามารถอธิบายได้จากกฎของสโตค (Stokes' law) (Metcralf และ Eddy, 2003)

$$v_p = \frac{\Delta\rho \cdot d^2 \cdot g}{18\mu} \quad (2.43)$$

จากสมการจะเห็นว่าตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความเร็วในการแยกอนุภาค ดังนี้

1. ค่าความเร่งหนีศูนย์กลาง

โดยทั่วไปแล้วการแยกอนุภาคด้วยการตกตะกอนโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกจะใช้กันมากในถังตกตะกอนในขั้นตอนของการบำบัดน้ำ สำหรับเครื่องมือการแยกอื่น ๆ สามารถทำการเพิ่มความเร่งนี้เพื่อให้ค่าความเร็วในการตกตะกอน (V_p) เพิ่มขึ้นได้ และในกรณีของไฮโดรไซโคลอนความเร่งหนีศูนย์กลางจะมีค่ามากกว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาก ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของความเร่งภายในไฮโดรไซโคลอนกับแรงโน้มถ่วงสามารถแสดงดังนี้

$$\zeta = \frac{v_y^2}{R \cdot g} \quad (2.44)$$

ดังนั้น Stokes' s law ในกรณีของไฮโดรไซโคลอนเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$v_p = \frac{\Delta \rho \cdot d_p^2 \cdot \zeta}{18 \cdot \mu} \quad (2.45)$$

2. ค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกันของอนุภาคสองเฟส, $\Delta \rho$

ค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกันของอนุภาคสองเฟส, $\Delta \rho$ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำ (ρ_w) กับอนุภาคของแข็ง (ρ_p) ที่ต้องการแยกออกจากกัน โดยของแข็งจะไหลออกไปยังทางออกด้านล่างและในขณะเดียวกันน้ำจะไหลออกไปยังทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลอน ในการแยกของแข็งออกจากน้ำในไฮโดรไซโคลอนนั้นจะไม่เกิดขึ้นหากเฟสทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันในแง่ของความหนาแน่น ($\Delta \rho = 0$) ทำให้ความเร็วในการแยกอนุภาค (v_p) มีค่าเป็นศูนย์ด้วย ดังนั้นการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของเฟสทั้งสอง

3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค, d_p

ขนาดอนุภาคซึ่งโดยปกติคือ ของแข็งเป็นตัวแปรที่สำคัญ จากสมการของ Stokes' law จะเห็นว่า d_p จะอยู่ในรูปของกำลังสอง (d_p^2) โดยที่ d_p^2 ได้ส่งผลต่อความเร็วในการตกตะกอนค่อนข้างมาก อาจกล่าวได้ว่า ความเร็วในการตกตะกอนจะแปรผันตามขนาดอนุภาค (เมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ ความเร็วในการตกตะกอนก็จะเพิ่มขึ้นตาม) ซึ่ง d_p มีความสัมพันธ์คล้ายกับค่าความหนาแน่นที่

แตกต่างกันของอนุภาคสองเฟส คือ เมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนจะเพิ่มขึ้นตาม แต่ d_p^2 ส่งผลต่อความเร็วในการตกตะกอนมากกว่า $\Delta\rho$ ดังนั้นหากสามารถเพิ่มขนาดของอนุภาคของแข็งได้จะทำให้การแยกด้วยไฮโดรไซโคลอนเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น

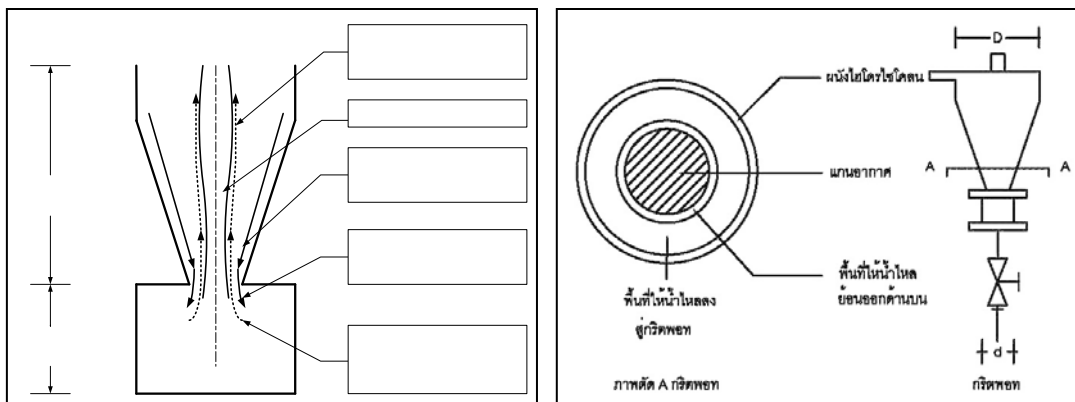
4. ความหนืดของของไหล, μ

ความหนืดของของไหลส่งผลต่อความเร็วในการแยกอนุภาค หากค่าความหนืดของของไหลสูงจะส่งผลให้ความเร็วในการแยกอนุภาคต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าความหนืดของของไหลมีค่าต่ำส่งผลให้ความเร็วในการแยกอนุภาคสูงความหนืดสัมพันธ์กับอุณหภูมิของไหล โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความหนืดของของไหลต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคสูงตามไปด้วย

2.7. แนวคิดเรื่องกริตพอท

กริตพอททำหน้าที่คล้ายกับถังตกตะกอนขนาดเล็กโดยจะติดตั้งอยู่ที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน ของแข็งแขวนลอยที่ผ่านจากทางออกด้านล่างจะเข้าสู่กริตพอทและจะตกตะกอนอยู่ใน จานระฆังเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อนุภาคจะสะสมอยู่ภายในถึงระดับสูงสุดที่กริตพอทจะรับได้ ตะกอนเข้มข้นที่ถูกรวบรวมไว้ในกริตพอทจะไหลออกไปยังด้านบน ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนลดต่ำลง (Puprasert และคณะ, 2004) เวลาที่ใช้เก็บกักของกริตพอทขึ้นอยู่ กับเวลาที่ต้องการปล่อย (Drain) ตะกอนเข้มข้นออกไป ความเข้มข้นที่จ่ายเข้า ลักษณะสมบัติในการตกตะกอนของแข็งแขวนลอยและตัวแปรทางกายภาพอื่น ๆ

จากงานวิจัยของ Puprasert และคณะ, 2004 ไฮโดรไซโคลอนที่ทำการติดตั้งกริตพอทมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคต่ำกว่าไฮโดรไซโคลอนธรรมดาประมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกทางด้านล่างเพิ่มขึ้น



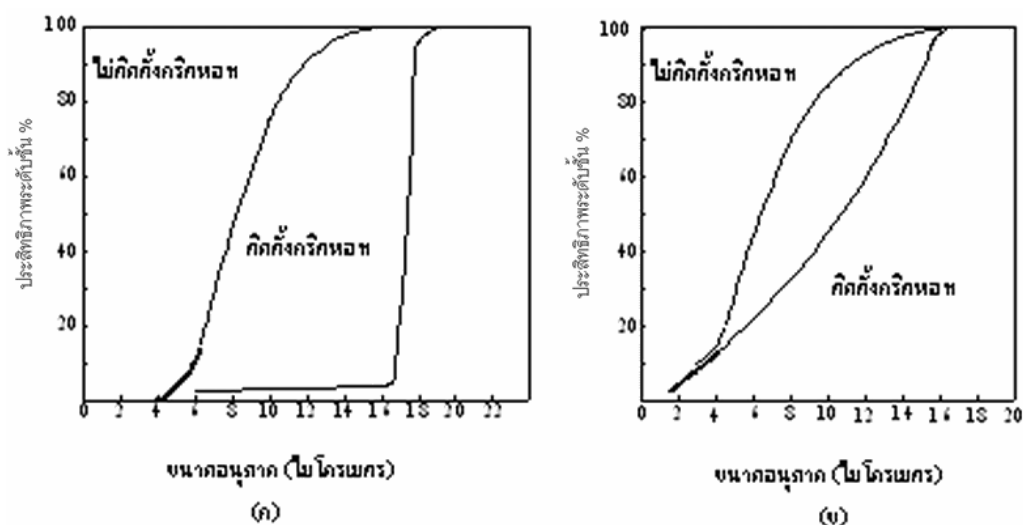
รูปที่ 2.14 เส้นทางการไหลของน้ำในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอต (Puprasert, 2004)

การไหลภายในกริตพอต สามารถอธิบายได้โดย Hass และ Bradley, 1957 (อ้างถึงใน Puprasert และคณะ 2004) กล่าวคือบริเวณส่วนบนของกริตพอตนั้น การไหลเข้ากริตพอตจะเท่ากับ การไหลย้อนกลับจากกริตพอตเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน การไหลย้อนกลับจะไหลผ่านช่องแคบรอบแกนอากาศ ทำให้มีอนุภาคขนาดเล็กไหลย้อนกลับไปในไฮโดรไซโคลน และอนุภาคที่เหลืออยู่จะตกตะกอน อยู่ภายในกริตพอต

Hass และคณะ, 1957 (อ้างถึงใน Puprasert และคณะ, 2004) ยังกล่าวอีกว่า อัตราส่วน ความเข้มข้นสามารถตรวจสอบได้ในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในกริตพอตและความเข้มข้นของของไหลที่จ่ายเข้า ซึ่งมีค่าสูงถึง 4500 เท่า สำหรับไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.635 เมตร และใช้ได้กับขนาดของแข็งแขวนลอยประมาณ 1 ไมโครเมตร

Braley, 1957 (อ้างถึงใน Puprasert และคณะ, 2004) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนเมื่อทำงานร่วมกับกริตพอตที่ติดตั้งอยู่ทางน้ำออกด้านล่าง (Underflow) ของไฮโดรไซโคลน พบว่าประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอตมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคต่ำกว่าไฮโดรไซโคลนธรรมดาเล็กน้อยและขนาดตัด (Cut size) ที่ได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอตนั้นจะสูงกว่าไฮโดรไซโคลนธรรมดาเล็กน้อย แต่ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอตมีความคมชัดในการแยกอนุภาคสูงกว่าไฮโดรไซโคลนธรรมดา ดังแสดงในรูป 2.15

Grit pot



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของประสิทธิผลการแยกอนุภาคกับขนาดอนุภาคเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไฮโดรโซโคลนธรรมดา กับไฮโดรโซโคลนติดตั้งกริดพอท (Puprasert, 2004)

2.8.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ลักษณะน้ำดิบ (การประปานครหลวง, www.mwa.co.th)

ลักษณะน้ำดิบที่นำมาใช้ในการศึกษา เป็นน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลมาจากการบรรจบกันของแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน บริเวณตำบลปากน้ำโพและตำบลแควใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เส้นทางที่ไหลผ่าน ได้แก่ พื้นที่จังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร และไหลลงสู่ปากอ่าวไทย ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ มีความยาวประมาณ 372 กิโลเมตร โดยน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยานี้จะไหลเข้าสู่สถานีสูบน้ำสำแลซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการรับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลองประปาตะวันออกและจ่ายมายังคลองประปาตะวันออกที่มีลักษณะเป็นคลองดิน เส้นทางคลองประปาผ่านชุมชนและสิ่งก่อสร้างมากมายเพื่อส่งน้ำต่อไปยังโรงงานผลิตน้ำ 3 แห่ง ซึ่งให้บริการแก่พื้นที่ทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นหลัก ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน และโรงงานผลิตน้ำธนบุรี โดยมีเส้นทางน้ำจากสถานีสูบน้ำดิบสำแลทอดยาวขนานถนนประชาชื่นซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างเขตดอนเมืองกับอำเภอปากเกร็ด (กิโลเมตรที่ 18) จังหวัดนนทบุรี ผ่านโรงงานผลิตน้ำบางเขนแล้วัดถนนงามวงศ์วานผ่านทางรถไฟสายใต้ขนานไปกับคลองเปรมประชากรผ่านถนนพระรามที่ 6 จนกระทั่งสิ้นสุดที่

โรงงานผลิตน้ำสามเสน รวมความยาวของคลองส่งน้ำประมาณ 31 กิโลเมตร โดยที่ปลายคลองประปาสามเสนจะมีประตูน้ำเก่าแก่ซึ่งสามารถเปิดระบายน้ำลงคลองสามเสนได้

รายละเอียดของแหล่งรับน้ำดิบทั้ง 3 แหล่ง ที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบมาวิเคราะห์ ดังนี้

1.1. สถานีสูบน้ำดิบสำแล

สถานีสูบน้ำดิบสำแลที่เป็นจุดเริ่มต้นของการรับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลองประปาตะวันออก ที่ตำบลสำแล จังหวัดปทุมธานี ห่างจากกรุงเทพฯ 41 กิโลเมตร ไกลจากปากอ่าวไทย 90 กิโลเมตร ไปยังโรงผลิตน้ำทั้ง 3 แห่ง โดยมีปริมาณการสูบน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลองประปาตะวันออกประมาณวันละ 3.8 ล้านลูกบาศก์เมตร/วัน และมีความเร็วของน้ำ 38 – 40 เซนติเมตร/วินาที จากการเก็บตัวอย่างน้ำเบื้องต้นมาวิเคราะห์และจากการสอบถามข้อมูลลักษณะน้ำดิบในช่วงเดือน พฤษภาคม – กรกฎาคม 2549 พบว่า ของแข็งแขวนลอยมีค่าประมาณ 80 - 120 มิลลิกรัม/ลิตร ความขุ่นเฉลี่ยมีค่าประมาณ 100-200 NTU และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 6 ไมโครเมตร

1.2. โรงงานผลิตน้ำบางเขน

โรงงานผลิตน้ำบางเขนเป็นโรงงานผลิตน้ำแห่งที่ 3 ของการประปานครหลวง ตั้งอยู่ที่เลขที่ 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กทม. 10210 จากการเก็บตัวอย่างน้ำดิบในคลองประปาหน้าโรงงานผลิตน้ำบางเขนมาวิเคราะห์และจากการสอบถามข้อมูลของลักษณะน้ำดิบในช่วงเดือน พฤษภาคม - เดือนกรกฎาคม 2549 พบว่า มีปริมาณของแข็งแขวนลอยประมาณ 80 – 90 มิลลิกรัม/ลิตร ความขุ่นเฉลี่ยของปี 2548 ในช่วงเดือน มิถุนายน ประมาณ 50.8 NTU ช่วงเดือน สิงหาคม – เดือนตุลาคม ประมาณ 100- 220 NTU ช่วงเดือนตุลาคม – เดือนมกราคม ประมาณ 40 - 60 NTU และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 3 – 5 ไมโครเมตร

1.3. โรงกรองน้ำสามเสน 2

โรงกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณริมถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400 จากการเก็บตัวอย่างน้ำดิบจากคลองประปาบริเวณหน้าโรงกรองน้ำสามเสน 2 ที่ผ่านการเติมสารส้มเบื้องต้นจากคลองประปามาวิเคราะห์และจากการสอบถามข้อมูลของลักษณะน้ำดิบ พบว่า ค่าความขุ่นเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนของปี 2001 – 2005 มีค่าสูงที่สุดประมาณ 85.4,

97.6, 100.8 และ 91.2 NTU มีปริมาณของแข็งแขวนลอยประมาณ 70 – 90 มิลลิกรัม/ลิตร และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 2 – 4 ไมโครเมตร

2. การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของไฮโดรไซโคลน

2.1. Castilho และ Medronho, 2000 ได้ทำการศึกษาวិธีการสำหรับการออกแบบและการทำนายประสิทธิภาพไฮโดรไซโคลนของ Bradley และ Rietema

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองด้วยของผสมชนิดเดียวกันโดยเลือกใช้ของเหลวคือ น้ำ ($\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ และ $\mu = 1.0 \text{ cp}$) และอนุภาคของแข็งชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น 2.9 g/cm^3 โดยทำการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบโดย Bradley และ Rietema ตัวแปรต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลนของ Bradley และ Rietema จะเป็นไปดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลนของ Bradley และ Rietema

ไฮโดรไซโคลน	D_f/D_c	D_o/D_c	L/D_c	L_f/D_c	I/D_c	θ
Bradley	1/7	1/5	-	1/2	1/3	9°
Rietema	0.28	0.34	5	-	0.40	20°

จากการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพไฮโดรไซโคลนของ Bradley และ Rietema พบว่าขนาดตัดลด (Reduced cut size) เป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลรวมไปถึงค่าความดันลด (Pressure Drop) และเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน และที่ความดันลดเดียวกันไฮโดรไซโคลนแบบ Rietema รับอัตราการไหลเข้าสูงกว่าไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley 2 -3 เท่า เนื่องจากรูปร่างลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบไฮโดรไซโคลนแบบ Rietema มีค่าในการออกแบบสูงกว่าไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley ดังตารางข้างต้น ในทางกลับกัน ไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley ให้ขนาดตัดลด (Reduced cut size) เล็กกว่า ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley จึงมีค่าสูงกว่าไฮโดรไซโคลนแบบ Rietema

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนโดยใช้ไฮโดรไซโคลนหลาย ๆ ตัว ต่อแบบขนาน จากการทดลอง พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนและขนาดตัดลดเป็นฟังก์ชันของจำนวนของไฮโดรไซโคลนที่นำมาต่อกันแบบขนาน และที่อัตราการไหลเดียวกันที่ความดัน

ลด์ที่กำหนดไว้ พบว่า เมื่อนำไฮโดรไซโคลนจำนวนเท่ากันมาต่อกันแบบขนาน ไฮโดรไซโคลนแบบ Reitema จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley เสมอ ในทางกลับกัน ไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley จะให้ขนาดตัดลดที่ต่ำกว่า กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley ให้ผลดีกว่า ไฮโดรไซโคลนแบบ Rietema

สรุปได้ว่า ไฮโดรไซโคลนแบบ Bradley ให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคสูงกว่าในแง่ของขนาดอนุภาค ในขณะที่ไฮโดรไซโคลนแบบ Rietema มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคได้ปริมาณมากกว่าในแง่ของมวล

2.2. Cilliers และคณะ, 2004 ศึกษาถึงผลกระทบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อนำน้ำออก (Dewatering) จากสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้นต่ำโดยใช้ผงซิลิกา (Silica powder) ผสมน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 10° ถึง 60°C ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หลังจากทำการทดสอบโดยการกำหนดอุณหภูมิในการแยกอนุภาคออกระหว่าง 10° ถึง 60°C พบว่า

1. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการแยกอนุภาคละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อรวบรวมอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน
2. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคสองเฟสจะดีขึ้นตามไปด้วย
3. ขนาดตัดมีค่าลดลงจาก 5.3 เป็น 2.8 ไมครอนและในขณะเดียวกันการนำน้ำกลับคืน (water recovery) ก็ลดลงเช่นเดียวกัน
4. สัดส่วนการไหลล้น (by pass) จะมีการเพิ่มขึ้นจาก 0.36 ถึง 0.48 เทียบตามอุณหภูมิ ทำให้การนำของแข็งกลับคืน (solid recovery) เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการนำน้ำกลับคืน (water recovery) ก็จะมีการลดลง

งานวิจัยนี้ได้มีการนำทฤษฎีของความสมดุล (The equilibrium orbit theory) มาใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงของขนาดตัดได้อย่างน่าพอใจ ในขณะที่การนำของแข็งกลับคืนได้ถูกนำมาตีความด้วยความสัมพันธ์ตามทฤษฎีของเวลาเก็บกัก (the residence time theory) โดยทฤษฎีทั้งสองนี้ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของเหลวเนื่องจากอุณหภูมิได้อย่างน่าพอใจ

2.3. Wang และ Yu, 2006 ศึกษาการไหลในหลายสถานะ (แก๊ส ของแข็งและของเหลว) ในไฮโดรไซโคลนที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ซึ่งหมายถึงความยาวของส่วนทรงกระบอก ส่วนกรวย และขนาดของตัวเรือนไฮโดรไซโคลน

การไหลในหลายสถานะในไฮโดรไซโคลนค่อนข้างมีความซับซ้อน และในการบำบัดของไหลที่สถานะต่างกันอาจต้องแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบการไหลแบบปั่นป่วนของแก๊สและของเหลวด้วย Reynold stress model (RSM) จุดเชื่อมต่อระหว่างของเหลวและแก๊สอากาศ ได้ถูกออกแบบด้วย Volume of fluid (VOF) model และผลที่ได้จากการออกแบบทั้งสองส่วนนี้จะนำมาทำการจำลองการไหลของอนุภาคด้วย Stochastic Lagrangian model เพื่อทำนายรูปแบบการไหลของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน โดยใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) เวอร์ชัน 6.0 ในการวัดวิเคราะห์ผลศาสตร์ของของเหลวในไฮโดรไซโคลน

ได้มีการนำผลการทดลองมาเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง ในส่วนของการทดลอง (อ้างถึงใน Hsieh, 1988) ทำการวัดความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงที่ค่ามุมต่างกัน คือ 0° และ 180° เทียบกับจุดไหลเข้าของน้ำ ในขณะที่ความเร็วในแนวแกนจะวัดที่ค่าต่างกัน 4 ค่า คือ 0° , 90° , 180° และ 270° และจากผลการทดลองความเร็วที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขนาดของไฮโดรไซโคลน พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเรือนไฮโดรไซโคลนที่ความเร็วไหลเข้าหนึ่ง ๆ และการเพิ่มขนาดตัวเรือนไฮโดรไซโคลนจะทำให้ได้ขนาดตัด (x_{50}) เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ความดันลด (Pressure drop) จะเพิ่มขึ้นและอัตราการแยก (Split ratio) จะลดลง ซึ่งผลที่ได้จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับกับ Plitt's Model แม้ว่าขนาดตัดของอนุภาคที่สามารถแยกได้จะมีขนาดที่แตกต่างกัน โดย Stochastic Lagrangian model จะให้ขนาดตัด (x_{50}) สูงกว่า Plitt's Model

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถอธิบายได้จากการถูกเปลี่ยนแปลงรัศมีโคจร (orbit radius) ของอนุภาค เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเรือนไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้นหรือขนาดรัศมีของตัวเรือนไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น อาจทำให้อนุภาคที่เคลื่อนเข้าสู่ผนังของไฮโดรไซโคลนและไหลออกไปยังทางออกด้านล่างลดลง

จากการศึกษาพบว่าที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็กจะให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคสูงกว่าและความดันลด (Pressure drop) ต่ำกว่าเนื่องจากการลดลงของความเร็วในแนวสัมผัสและการเคลื่อนที่ของอนุภาค ส่วนของทรงกระบอกจะไม่มีบทบาทสำคัญในการแยกอนุภาค แต่ในส่วนที่เป็นกรวย ถ้ามีกรวยที่ยาวจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนให้ดีขึ้น

มากไปกว่านั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง เช่น ขนาดตัดและความดันลด จากการเปรียบเทียบพบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน

3. การศึกษาการทำงานของไฮโดรไซโคลอนในแง่ของลักษณะการไหลภายในไฮโดรไซโคลอน

Dai และคณะ, 1999 ศึกษาการไหลของของแข็งและของเหลวในไฮโดรไซโคลอน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของอนุภาค (Particle dynamic analyser, PDA) เพื่อใช้หาความเร็วในแนวแกนกับแนวรัศมีของไฮโดรไซโคลอนและขนาดของอนุภาคของแข็งในไฮโดรไซโคลอน งานวิจัยนี้ใช้ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าไฮโดรไซโคลอน 14 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน 16 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 14 มิลลิเมตร ของเหลวที่นำมาทดลองคือ น้ำผสมอนุภาคของแข็ง โดยของแข็งที่นำมาทำการทดลองประกอบด้วยของแข็ง 3 ชนิด คือ Polystyrene ความหนาแน่น 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร Polyvinyl chloride ความหนาแน่น 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ Quartz sand ความหนาแน่น 2.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทำการทดลองที่ละชนิดของแข็ง

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลอน พบว่า ในส่วนกรวยของไฮโดรไซโคลอน ความเร็วในแนวรัศมี (Radial Velocity) จะเพิ่มขึ้นจากผนังถึงจุดกึ่งกลางของไฮโดรไซโคลอน ใกล้บริเวณแกนอากาศมากที่สุดและหลังจากนั้นจะลดลง การเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวรัศมีของการไหลของกระแสวนภายใน (Inner vortex flow) จะมีมากกว่าการไหลของกระแสวนภายนอก (Outer vortex flow) และความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคขนาดหยาบจะยาวกว่าความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคขนาดละเอียด

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้สมมุติให้ความเร็วในแนวแกนของอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนเหมือนกันทั้งของแข็งและของเหลว อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ความเร็วของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่จะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับความเร็วของของเหลว เนื่องจากความเร็วของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวจะมีพื้นที่ที่ความเร็วต่ำกว่าระหว่างเส้น LZVV 2 เส้น จำนวนพื้นที่ที่มีความเร็วต่ำที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างจากข้อมูลทางทฤษฎี ซึ่งผลที่ได้นี้มาจากการหมุนวนที่ด้านบนของส่วนกรวย และอนุภาคของแข็งที่บริเวณนี้จะถูกแยกออกเพราะอนุภาคไม่สามารถเคลื่อนที่ลงสู่พื้นที่ด้านล่างของกรวยได้

ความเร็วในแนวแกนและแนวรัศมีมีผลกระทบต่อการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดการกระจายตัวของความเร็วในแนวราบ พบว่า มีการไหลลัดวงจรที่บริเวณใกล้เคียงกับผนังด้านบนนอกของ Vortex finder กล่าวได้ว่า มีอนุภาคของแข็งบางส่วนไหลผ่านออกไปยังทางออกด้านบนกับกระแสวนภายในของไฮโดรไซโคลอน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งในไฮโดรไซโคลน พบว่าอนุภาคของแข็งจะมีขนาดเล็กลงตามลำดับจากบริเวณผนังไฮโคลนไปยังกึ่งกลางของไฮโดรไซโคลน ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsieh กับ Rajamani (1991), Kelsall (1952) และ Bloor กับ Ingham (1973)

ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. มีอนุภาคของแข็งบางส่วนไหลผ่านออกไปยังทางออกด้านบนกับกระแสนภายในของไฮโดรไซโคลน (Short circuit) ในขณะที่อนุภาคของแข็งบางส่วนจะไหลไปตามผนังของไฮโดรไซโคลนเพื่อออกไปที่ทางออกด้านล่าง
2. พื้นที่ระหว่างเส้น LZVV จะมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคต่ำ ดังนั้นการลดพื้นที่ระหว่างเส้น LZVV สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกอนุภาค
3. ประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนลดลงเมื่อผนังของไฮโดรไซโคลนเกิดรอยขีดข่วนจากอนุภาคของแข็งเนื่องจากโมเมนต์ที่สูงของอนุภาคขนาดใหญ่ที่อยู่ใกล้กับผนังไฮโดรไซโคลน

4. การศึกษาการแยกอนุภาคของแข็ง - ของเหลว ออกจากกันด้วยไฮโดรไซโคลน

4.1. Pasquier และคณะ, 2000 ศึกษาการใช้ไฮโดรไซโคลนในการแยกน้ำที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (Sub – micron) โดยใช้ไฮโดรไซโคลนเซรามิกขนาด 10 มิลลิเมตรสำหรับแยกของแข็ง - ของเหลว (Ceramic solid – liquid hydrocyclone) ของบริษัท Richard Mozley (UK) โดยทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำชนิด Mono pump และติดตั้งวาล์วทางอ้อม (Bypass valve) สำหรับควบคุมความดัน ภายในไฮโดรไซโคลนประกอบด้วย Vortex finder 2 ชุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 และ 3.2 มิลลิเมตร และทางออกด้านล่าง (Spigot) 2 ชุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร และได้ถูกนำมาใช้ร่วมกันตามที่โปรแกรมการจำลองได้ตั้งไว้ อนุภาคของแข็งที่นำมาใช้ในการศึกษาคือผงซิลิกา (Silica flour) ขนาดเฉลี่ย 8.5 ไมโครเมตร และทำการเก็บตัวอย่างที่ทางเข้า ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน หลังจากนั้นสัดส่วนที่ได้จะถูกทำให้แห้งเพื่อหาค่าความเข้มข้นของแข็ง งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน คือ การเปลี่ยนความดันและเส้นผ่านศูนย์กลางทางออก และการใช้ไฮโดรไซโคลนในการแยกน้ำที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (Sub – micron) โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร

จากการศึกษาในส่วนแรก พบว่า การเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง Vortex finder จาก 2 มิลลิเมตร เป็น 3.2 มิลลิเมตร ทำให้อัตราส่วนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 12.2 ในขณะที่น้ำย้อนกลับจะลดลงจาก 13.8 เป็น 4.1 % ของแข็งและปริมาตรย้อนกลับจะลดลงจาก 80.1 เป็น 64.8 เปอร์เซ็นต์

และจาก 15.9 เป็น 5.4 % ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง พบว่า น้ำ ของแข็งและปริมาตรย้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 54.2 เปอร์เซ็นต์ 92.8 เปอร์เซ็นต์ และ 55.8 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกันอัตราความเข้มข้นจะลดลงจาก 5 เป็น 1.7

จากการศึกษาถึงผลกระทบของความดันพบว่า การเปลี่ยนความดันมีผลกระทบน้อยกว่าการเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางทางออก อย่างมีนัยสำคัญ คือ การลดความดันเข้า (Inlet pressure) จาก 4 บาร์ เป็น 2 บาร์ ทำให้อัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ลดลงเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ และของแข็งย้อนกลับ (Solid recovery) ลดลง 6.5 เปอร์เซ็นต์ และปริมาตรย้อนกลับ (Volumetric recovery) เพิ่มขึ้น 9.5 เปอร์เซ็นต์

กล่าวได้ว่า การเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกและการเปลี่ยนความดันจะมีผลกระทบที่แตกต่างกันต่อของแข็งและปริมาตรย้อนกลับ คือ การเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกก็มีผลกระทบต่อของแข็งและปริมาตรย้อนกลับอย่างชัดเจน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีผลกระทบต่อของแข็งและปริมาตรย้อนกลับเพียงเล็กน้อย

การศึกษาในส่วนที่สองพบว่า ขนาดตัดขนาดเล็กและการไหลลัดวงจรที่ค่อนข้างยาวทำให้การรวบรวมอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนมีความเป็นไปได้ และไฮโดรไซโคลนส่วนใหญ่จะมี สัดส่วนของการไหลทางอ้อมเท่ากับน้ำบางส่วนที่ไหลออกไปทางออกด้านล่าง (Water recovery) แต่สำหรับไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร สัดส่วนของการไหลทางอ้อมจะมีมากกว่าน้ำบางส่วนที่ไหลออกไปทางออกด้านล่าง กล่าวคือ ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกของแข็งขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนออกจากของเหลวได้ ซึ่งจะได้ปริมาณของแข็งที่สูงและปริมาณน้ำที่ต่ำที่ทางออกด้านล่าง

4.2. Yang, 2004 ได้ทำการศึกษาการทำแบบจำลองสามมิติของไฮโดรไซโคลนสำหรับการแยกตะกอนในโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง โดยงานวิจัยนี้ได้ทำแบบจำลองสามมิติเพื่อทำนายการไหลและประสิทธิภาพการแยกอนุภาคภายในไฮโดรไซโคลน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกอนุภาคโดยไฮโดรไซโคลนในเทอมของขนาดอนุภาคด้วยการทำแบบจำลองสามมิติกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

เพื่อที่จะคำนวณวิถีโคจรของอนุภาคจะต้องมีการสมมติว่า ผลของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีต่อการไหลและปฏิภยาระหว่างอนุภาค – อนุภาค มีค่าน้อยมากสามารถละทิ้งได้ในกรณีของสลัดจ์ เจือจางอย่างที่พิจารณาในการศึกษานี้ ดังนั้นการคำนวณวิถีโคจรของในของเหลวจึงจะสามารถทำได้

และวิถีโคจรของอนุภาคสามารถคำนวณโดยการอินทิเกรตสมการสมดุลแรง (The force balance equations) ของอนุภาคบนพื้นฐานของการทำนายการไหล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองด้วยน้ำผสมกับอนุภาคของแข็งที่นำมาจากตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของ Seong – Hwan water purifying plant ตะกอนดังกล่าวจะประกอบไปด้วย Quartz, Muscovite, Kaolinite และ Albite โดยของแข็งมีความหนาแน่น 2.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และขนาดของอนุภาคของแข็งมีการกระจายตัวจากขนาดเล็กกว่าไมครอน (Sub – micron) ถึง 100 ไมครอน โดยทำการเก็บตัวอย่างในเวลาเดียวกันที่บริเวณน้ำเข้า ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน จากนั้นทำการหาความเข้มข้นของของแข็งและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการวิจัยพบว่า การจำลองการไหลแบบสามมิติในไฮโดรไซโคลนเพื่อใช้ในการแยกตะกอนออกจากกระบวนการทำน้ำบริสุทธิ์ พบว่าของผสมที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนได้ไหลออกมาในทิศทางที่ต่างกัน คือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะไหลออกไปที่ทางออกด้านบน ในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่จะไหลออกไปที่ทางออกด้านล่าง และได้มีการเปรียบเทียบสัดส่วนของขนาดอนุภาคที่ไหลออกไปทางออกด้านล่างของแบบจำลองและการทดลอง โดยผลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 5 – 45 ไมครอน

สรุปได้ว่าวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาคถูกคำนวณเพื่อทำนายประสิทธิภาพการแยกในไฮโดรไซโคลน นอกจากนี้ได้มีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการแยกอนุภาคที่มีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคสำหรับตะกอนที่นำมาจากโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายของแบบจำลอง พบว่าการจำลองการไหลแบบสามมิติสามารถนำไปใช้ได้จริง

4.3. Puprasert และคณะ, 2004 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนแบบทั่วไปกับไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอท เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำขุ่นต้นของน้ำไหลนอง (Run off water) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการแบบใหม่โดยผสมผสานระหว่างไฮโดรไซโคลนกับการติดตั้งถังตกตะกอนเข้าด้วยกันโดยใช้กริตพอท ทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอนขนาดเล็ก และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่าง ๆ ระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา กับไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอท

การศึกษานี้ได้ใช้ไฮโดรไซโคลนแบบทั่วไปตามรูปแบบของ Rietema ไฮโดรไซโคลนที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 75 มิลลิเมตร ทางเข้าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร ทางออกด้านบนไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร ทำการเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างขนาด 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร ทดสอบที่ความดัน 1, 2, 3 และ 4

บาร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนที่ความดันต่าง ๆ วัสดุตัวเรื้อนที่ใช้คือ เหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนกริตพอทที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกพลาสติกโปร่งแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความจุ 1.2 ลิตร และที่ด้านล่างของกริตพอท ทำการติดตั้งวาล์วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สำหรับปล่อยตะกอนภายในออก เวลาที่ใช้ในการควบคุม กริตพอท คือ 0.5, 1 และ 2 นาที ในงานวิจัยนี้ได้มีการควบคุมตัวแปรคงที่ดังนี้ ชนิดของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า - ทางออกไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน และกริตพอท ตัวแปรควบคุมคือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกและความดันที่ใช้ในไฮโดรไซโคลน ตัวแปรที่งานวิจัยนี้ไม่สามารถควบคุมได้คือ อุณหภูมิและตัวกลางน้ำดิบ น้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ น้ำประปา ผสมกับอนุภาคของแข็ง ซึ่งอนุภาคของแข็งที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ Microsand และ Glass powder เนื่องจากอนุภาคของแข็งทั้งสองเป็นตัวแทนส่วนใหญ่ของอนุภาคของแข็งในน้ำไหลนอง (Run off water) โดยกำหนดให้น้ำประปาที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีลักษณะคงที่ ความเข้มข้นของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัยคือ 1 และ 3 กรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นที่เป็นตัวแทนของน้ำไหลนองและค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่กั้นถึงตกตะกอนของน้ำไหลนองตามลำดับ โดยทำการทดสอบกับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนที่ทำการติดตั้งกริตพอท

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนใน 3 รูปแบบ คือ ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของแข็ง (Solid separation efficiency) ประสิทธิภาพการแยกขนาดอนุภาค (Granulometry separation efficiency) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดตัด (Cutting diameter, d_{100}) ผลการวิจัยพบว่า ไฮโดรไซโคลนทั้งสองแบบสามารถแยกของแข็งได้ดี คือ อนุภาคขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ถูกแยกออกไปที่ทางออกด้านล่าง ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กถูกแยกออกไปที่ทางออกด้านบน โดยประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนแบบติดตั้ง กริตพอท มีค่อนข้างสูงประมาณ 70 และ 65 % ตามลำดับ และไฮโดรไซโคลนทั้งสองแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดตัด (d_{100}) ต่ำถึง 24 ไมครอน จากประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของแข็งที่สูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดตัดที่ต่ำได้ แสดงให้เห็นว่า ไฮโดรไซโคลนทั้งสองแบบสามารถแยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดตัดได้จำนวนหนึ่ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำไปเป็นการบำบัดเบื้องต้น (Pre - treatment) ของน้ำไหลนอง

นอกจากนั้น ในส่วนของความเข้มข้นที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท จะมีความเข้มข้นของตะกอนสูงมากกว่าไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาถึง 10 เท่า ในขณะที่ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็งต่ำกว่าไฮโดรไซโคลนแบบ

ธรรมดาเพียงเล็กน้อย กล่าวได้ว่าการติดตั้งกริตพอท เป็นข้อดีและยังทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งที่ออกมายังทางออกด้านล่างมีปริมาณมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอทกับถังตกตะกอน ที่ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของแข็งเดียวกัน จากการคำนวณด้วยกฎของโตค (Stokes' law) พบว่าไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอทต้องการพื้นที่น้อยกว่า ซึ่งนี่ก็เป็นข้อดีอีกข้อของไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท และจากข้อดีนี้ได้มีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำไหลนองในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดอย่างพื้นที่ในตัวเมือง นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท จะดียิ่งขึ้นเมื่อความดันจ่ายเข้าหรืออัตราการไหลเข้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับถังตกตะกอนแล้วเมื่ออัตราการไหลเข้าเปลี่ยนประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของถังตกตะกอนเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า

งานวิจัยนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงช่วงค่าของพารามิเตอร์หลายชนิดเพื่อศึกษาด้วยไฮโดรไซโคลอนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท จากการทดลองพบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลมาก คือ ความดันจ่ายเข้าและชนิดของอนุภาคของแข็ง (ในรูปของลักษณะทางกายภาพ เช่น ความถ่วงจำเพาะ และขนาดของอนุภาค เป็นต้น) ในขณะที่ความเข้มข้นของของแข็งที่จ่ายเข้าเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบน้อยที่สุดต่อไฮโดรไซโคลอนทั้งสองแบบ

4.4. Schwerzler, 2005 ศึกษาถึงการนำของเสียจากวัสดุเคลือบเงา (Glaze waste) กลับมาใช้ใหม่ด้วยการแยกอนุภาคด้วยไฮโดรไซโคลอนเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม โดยไฮโดรไซโคลอนที่นำมาศึกษาจะต่อกันแบบอนุกรม (จาก 3 นิ้ว ไป 0.5 นิ้ว) ซึ่งการทดลองในเบื้องต้นได้แสดงให้เห็นว่ามีการแยกอนุภาคให้อยู่ในขนาดอนุภาคทั้ง 3 ช่วง คือ น้อยกว่า 5.5 ไมโครเมตร ระหว่าง 5 ถึง 20 ไมโครเมตร และมากกว่า 20 ไมโครเมตรได้

จากการศึกษาพบว่า ไฮโดรไซโคลอนได้ถูกนำมาใช้ในการแยกอนุภาคที่ความเร็วในการตกตะกอนที่ต่างกันจากการคำนวณด้วย Stokes' s law แต่ไฮโดรไซโคลอนไม่สามารถแยกของผสมที่มีอนุภาคที่ขนาดและความหนาแน่นต่างกันที่ความเร็วในการตกตะกอนใกล้เคียงกันได้ และการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุเคลือบเงา (Glaze waste) สามารถถูกแยกไปยังช่วงค่าต่าง ๆ ที่ต้องการได้แต่ยังไม่ชัดเจน 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกล่าวว่า ระบบที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้จะถูกต้องการนำมาใช้แยกอนุภาคของแข็งออกจากกันเพื่อให้ชัดเจน 100 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1. ส่วนประกอบและการติดตั้ง Pilot plant ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบไปด้วย

1. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
2. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
3. เครื่องสูบน้ำชนิด Screw rotary displacement pump ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้
4. ใบพัดกวนผสมน้ำชนิด Rushton turbine ขนาด 1.1 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้
5. ถังเก็บน้ำพลาสติกขนาด 350 ลิตร
6. วาล์วสามทาง
7. วาล์วลดความดัน
8. เกจวัดความดัน
9. เกจวัดอัตราการไหลเข้า

รูปร่างลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 ส่วนรูปของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ชนิด กริดพอท และโรงงานนำร่อง (Pilot Plant) ที่ใช้ในการทดลอง แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 - 3.4

ตารางที่ 3.1 รูปร่างและลักษณะของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 75 มิลลิเมตร

พารามิเตอร์ต่าง ๆ	ไฮโดรไซโคลน NYRTEC	
	รุ่น HC 50	รุ่น HC 75
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	50	75
เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (มิลลิเมตร)	20	32
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (มิลลิเมตร)	20	32
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	4 - 10	8 - 12
ความดัน (บาร์)	0.5 - 2	0.5 - 2
วัสดุที่ใช้ทำตัวเรือนไฮโดรไซโคลน	ไฟริยูเรเทน	เหล็กกล้าไร้สนิม



รูปที่ 3.1 ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร



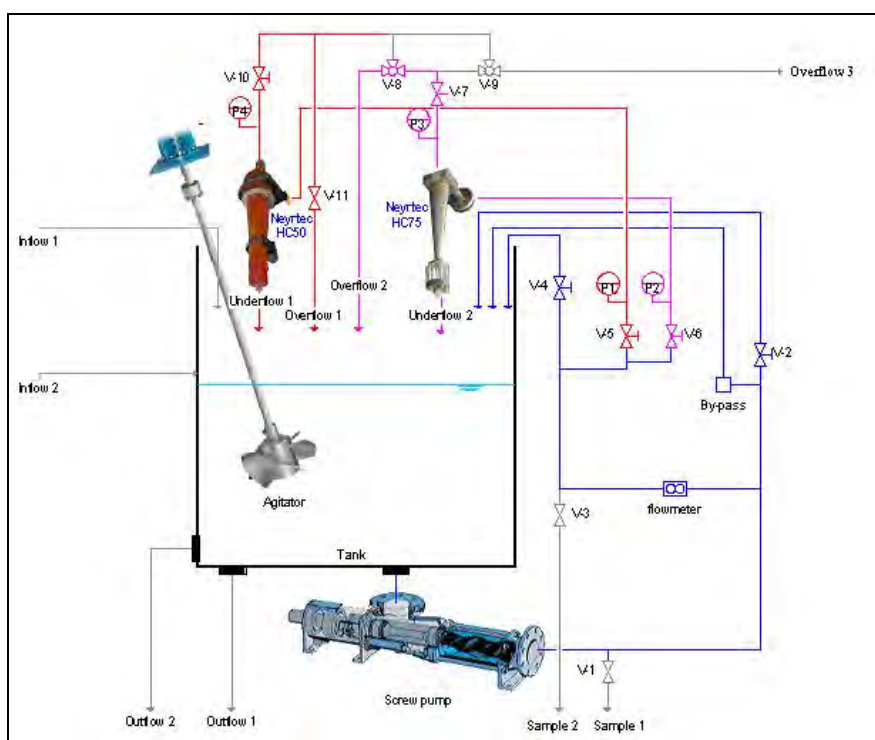
รูปที่ 3.2 ไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 การติดตั้งกริตพอทที่ทางน้ำออกด้านล่าง



รูปที่ 3.4 โรงงานนำร่อง (Pilot Plant)



รูปที่ 3.5 แผนผังของโรงงานนำร่อง (Pilot plant)

3.1.2. หลักการทำงานของโรงงานนำร่อง (Pilot Plant)

น้ำดิบจะไหลผ่านเครื่องสูบน้ำแบบ Variable speed mono pump (Screw pump) ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ เข้าสู่ถังขนาด 0.35 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งในถังจะประกอบไปด้วยใบกวน (Mixer) ขนาด 1.1 กิโลวัตต์ ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ทำหน้าที่กวนของแข็งกับของเหลวภายในถังให้เข้ากันอย่างสมบูรณ์ การควบคุมความดันควบคุมด้วยอัตราการไหลโดยการใช้การไหลทางอ้อม (By pass) เพื่อให้ได้ความดันตามที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความดันควบคุมไว้ที่ 0.5 – 2.0 บาร์ pilot plant ที่นำมาทดลองได้มีการติดตั้งท่อสำหรับการไหลทางอ้อม (By pass) ไว้ 2 ทาง โดยเส้นทางแรกทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลอย่างหยาบ (V2) และเส้นทางที่สองสำหรับปรับอัตราการไหลละเอียด (V4) อัตราการไหลเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนสามารถหาได้จากการอ่านค่าที่เครื่องวัดอัตราการไหล อัตราการไหลออกจากไฮโดรไซโคลนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของปริมาตรกับเวลา Pilot plant ดังกล่าวติดตั้งอยู่บนรถพ่วงเพื่อง่ายต่อการเคลื่อนย้ายไปทำงานในภาคสนาม

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแบบเปิด คือ มีการเปลี่ยนน้ำดิบทุกครั้งหลังจากทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่จ่ายเข้า (Feed) และน้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนทั้งสองทาง คือ ทางออกด้านล่าง (Underflow), (Underflow 1) และทางออกด้านบน (Overflow), (Overflow 1) ในขณะที่ทำการทดลองได้ทำการจ่ายน้ำเข้า Pilot plant ตลอดเวลาและเปิดเครื่องกวนผสมน้ำตลอดเวลาด้วยเช่นกัน เมื่อน้ำที่ไหลเข้า Pilot plant มีปริมาณเกินขีดจำกัดของถังเก็บน้ำ น้ำดิบจะไหลล้นออกไปที่ท่อน้ำล้นส่วนบนของถังเก็บน้ำ

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ การทดลองส่วนแรกได้ทำการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 และ 75 มิลลิเมตร สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอนั้น กริตพอนจะติดตั้งที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนทั้งสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลขนาด 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลขนาด 75 มิลลิเมตร

3.1.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร จำนวน 50 ขวด
2. ชุดอุปกรณ์การกรองสำหรับหาของแข็งแขวนลอย
3. กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระดาษ 47 มิลลิเมตร ฐพฐน
กระดาษกรอง 1.2 ไมโครเมตร
4. ตู้อบ Hot Air Oven (Model TS8000)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค Mastersizer 2000 with hydro 2000 MU
7. เครื่องมือวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100A Turbidity
8. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
9. นาฬิกาจับเวลา

3.2. การดำเนินการทดลอง

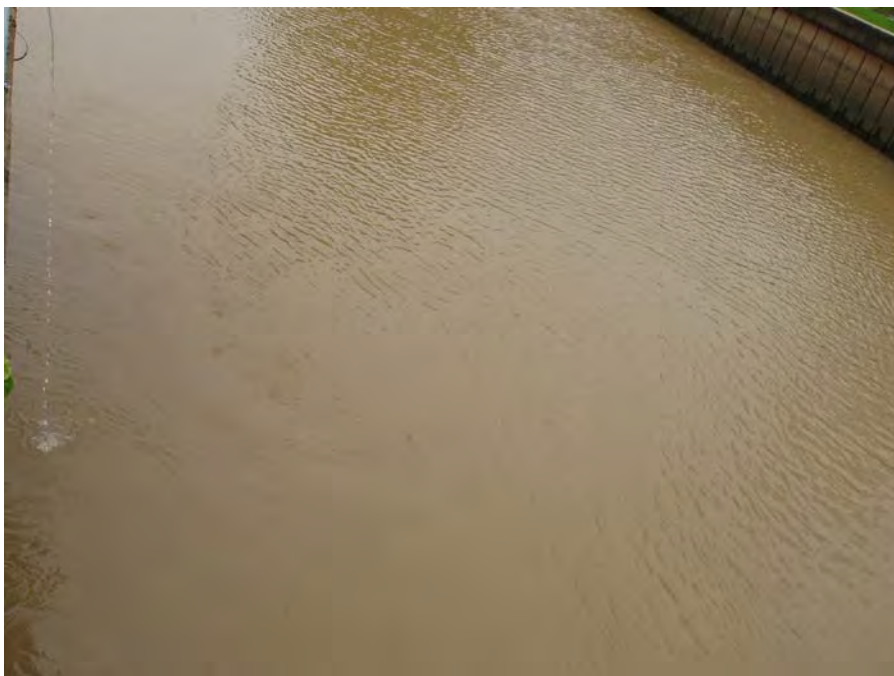
การทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวอย่างน้ำดิบจริง 2 แห่ง คือ สถานีสูบน้ำดิบสำแล ตำบลสำแล จังหวัดปทุมธานี บริเวณปากทางน้ำที่ผ่านสถานีสูบน้ำดิบก่อนส่งผ่านไปยังคลองประปา ดังแสดงในรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 และแห่งที่สอง คือ โรงกรองน้ำสามเสน 2 ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. บริเวณบ่อบำบัดน้ำที่สูบน้ำเข้ามาจากคลองประปาหน้าโรงงานกรองน้ำสามเสน 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.11, 3.12, 3.13 และ 3.14 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำโรงงานนำร่อง (Pilot Plant) ไปติดตั้งเพื่อทำการทดลอง หลังจากทำการทดลองจะนำน้ำตัวอย่างกลับมาทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่วงเวลาที่ทำการทดลองคือระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550



รูปที่ 3.8 สถานีสูบน้ำดิบสำแล



รูปที่ 3.9 จุดที่น้ำดิบผ่านจากสถานีสูบน้ำเพื่อส่งผ่านไปทางคลองประปา



รูปที่ 3.10 ลักษณะของน้ำดิบและความขุ่นของน้ำดิบที่สถานีสูบน้ำลำแควที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.11 ที่ตั้งโรงกรองน้ำสามเสน 2



รูปที่ 3.12 ที่ตั้งโรงงานนำร่อง (Pilot Plant) ภายในโรงกรองน้ำสามเสน 2



รูปที่ 3.13 บริเวณปล่อยน้ำเข้าบ่อพักน้ำภายในโรงกรองน้ำสามเสน 2



รูปที่ 3.14 ลักษณะของน้ำดิบและความขุ่นของน้ำดิบที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่เก็บได้จะทำการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ ความขุ่น ความเข้มข้นสารแขวนลอย และขนาดอนุภาค ทั้งนี้การดำเนินการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ในแผนภาพที่ 3.15 และ 3.16 ซึ่งการดำเนินการทดลองทำโดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนดังนี้

1. การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอทที่ขนาดต่าง ๆ ได้แก่

ทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง จำนวน 4 ค่า คือ 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละค่าจะแปรผันค่าความดันจำนวน 4 ค่าด้วย ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ตำแหน่งทางเข้า (Feed) ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow) รวมแล้วจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง

ทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง จำนวน 3 ค่า คือ 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละค่าจะแปรผันค่าความดันจำนวน 4 ค่าด้วย ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ตำแหน่งทางเข้า (Feed) ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow) รวมแล้วจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 36 การทดลอง

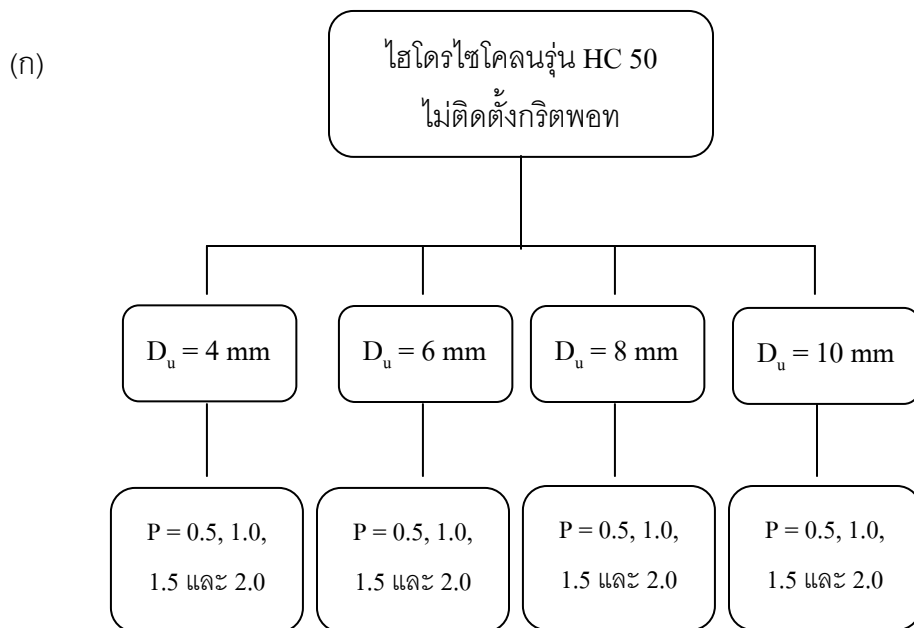
2. การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทที่ขนาดต่าง ๆ ได้แก่

2.1. ทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร โดยแปรผันค่าความดันจำนวน 4 ค่า ด้วย ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ตำแหน่งทางเข้า (Feed) ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow) รวมแล้วจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง

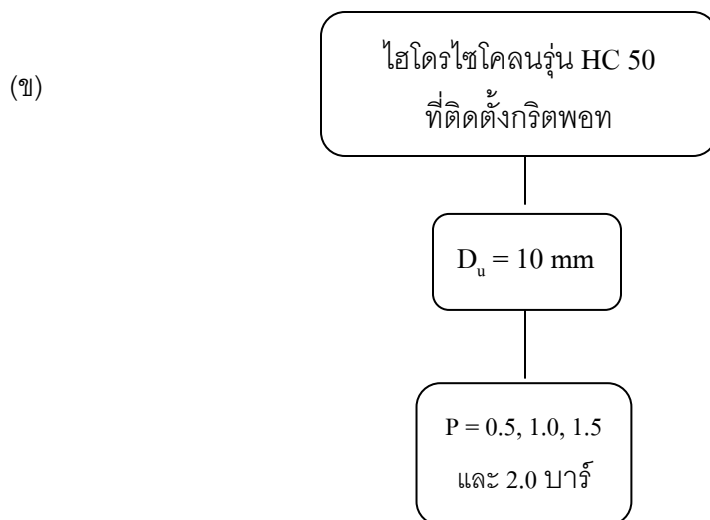
2.2. ทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร โดยแปรผันค่าความดันจำนวน 4 ค่า ด้วย ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ตำแหน่งทางเข้า (Feed) ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow) รวมแล้วจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง

ทั้งนี้รวมการทดลองทั้งหมด 108 ชุดการทดลอง

การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรที่ไม่ติดตั้งกริตพอท



การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรที่ติดตั้งกริตพอท

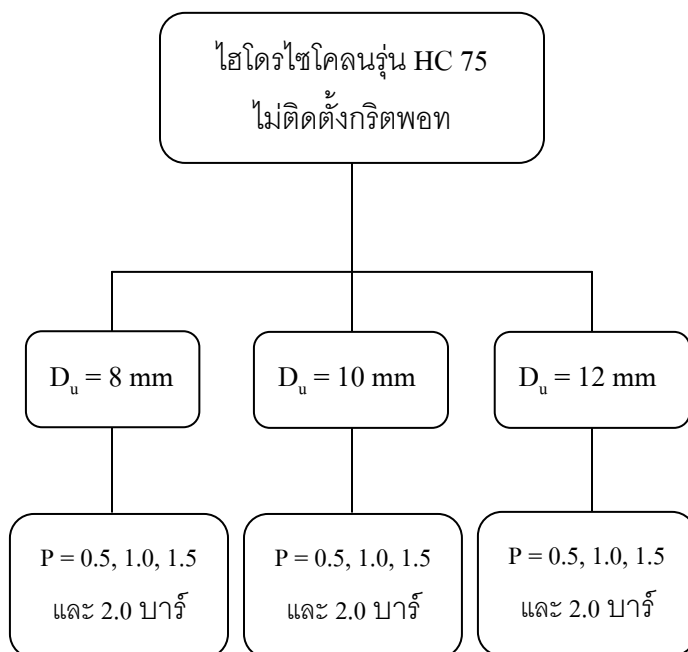


รูปที่ 3.15 แผนผัง (ก) การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ

(ข) การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรที่ติดตั้งกริตพอท

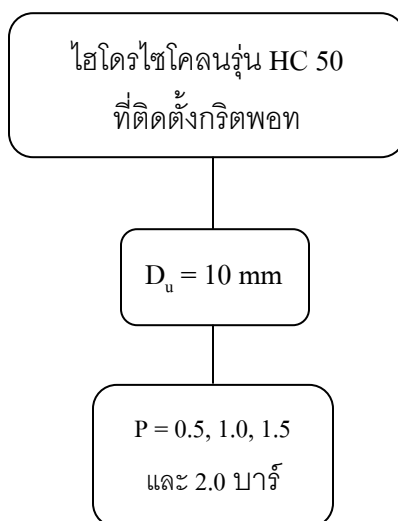
การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ไม่ติดตั้งกริตพอท

(ก)



การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท

(ข)



รูปที่ 3.16 แผนผัง (ก) การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ
(ข) การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตรที่ติดตั้งกริตพอท

3.3. วิธีทำการทดลอง

3.3.1. การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร

3.3.1.1. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 75 มิลลิเมตร (HC 50, HC 75)	o รายละเอียดของไฮโดรไซโคลน แสดงในตารางที่ 3.1
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (HC 50) เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (HC 75)	o 4 , 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร o 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร
2. ความดัน (HC 50)	o 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์
3. ความดัน (HC 75)	o 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์
ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. อุณหภูมิ	o ขึ้นอยู่กับสภาพจริง
2. ตัวกลางน้ำดิบ	o ขึ้นอยู่กับสภาพจริง
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
1. อัตราการไหล	o การวัดปริมาตร o การจับเวลา
2. ค่าความขุ่น	o วัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น (รายละเอียดแสดงในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง)
o ทางออกด้านบน	
o ทางออกด้านล่าง	
o ทางเข้า	
3. ขนาดอนุภาคในน้ำดิบ	o วิเคราะห์ด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค (รายละเอียดแสดงในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง)

3.3.1.2. รายละเอียดวิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร

1. เติมน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่องให้ล้นออกตลอดเวลา
2. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์
3. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
4. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายน้ำเข้าไฮโดรไซโคลน
5. ทำการเปิดวาล์ว V - 5 และ V - 10 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5
6. ปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ 0.5, 1.0 , 1.5 และ 2.0 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นทางไหลทางอ้อม (By - pass)
7. จดบันทึกค่าอัตราการไหล (Feed flowrate) เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) และค่าความดันลด (Pressure drop)
8. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow)
9. จับเวลาที่น้ำไหลออกจากทางออกด้านล่างจนได้ปริมาตรน้ำประมาณ 1 ลิตร เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลออกด้านล่าง (Underflow rate) โดยเทียบปริมาตรกับเวลาที่วัดได้
10. นำน้ำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4
11. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (4, 6, 8, และ 10 มิลลิเมตร) และทำตามการทดลองข้างต้นซ้ำ

สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร

1. เติมน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่องให้ล้นออกตลอดเวลา
2. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์
3. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
4. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายน้ำเข้าไฮโดรไซโคลน
5. ทำการเปิดวาล์ว V - 5, V - 6, V - 7 และ V - 8 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน 75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5

6. ปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ 0.5, 1.0 , 1.5 และ 2.0 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นทางไหลทางอ้อม เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดของไฮโดรไซโคลน
7. จดบันทึกค่าอัตราการไหลเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เก็บวัดอัตราการไหลและค่าความดันลด
8. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน
9. จับเวลาที่น้ำไหลออกจากทางออกด้านล่างจนได้ปริมาตรน้ำครบ 1 ลิตร เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลออกด้านล่างโดยเทียบปริมาตรกับเวลาที่วัดได้
10. นำน้ำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4
11. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (8, 10 และ 12 มิลลิเมตร) และทำตามการทดลองข้างต้นซ้ำ

3.3.2. การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท

3.3.2.1. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 75 มิลลิเมตร (HC 50, HC 75)	<ul style="list-style-type: none"> o รายละเอียดของไฮโดรไซโคลนแสดงในตารางที่ 3.1
2. กริตพอท	<ul style="list-style-type: none"> o ทรงกระบอกโปร่งแสง o เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก 10 เซนติเมตร o ความจุ 1.2 ลิตร

ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (HC 50) 2. ความดัน (HC50) 3. เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (HC 75) 4. ความดัน (HC75) 5. เวลาที่ใช้ในกริตพอท (สามเสน) เวลาที่ใช้ในกริตพอท (สำแล)	<ul style="list-style-type: none"> o 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร o 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ o 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร o 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ o 1, 2, 5, 15, 30 และ 60 นาที o 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540 และ 600 นาที
ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. อุณหภูมิ 2. ตัวกลางน้ำดิบ	<ul style="list-style-type: none"> o ขึ้นอยู่กับสภาพจริง o ขึ้นอยู่กับสภาพจริง
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
1. อัตราการไหล 2. ค่าความขุ่น <ul style="list-style-type: none"> o ทางออกด้านบน o ทางออกด้านล่าง o ทางเข้า 3. ขนาดอนุภาคในน้ำดิบ	<ul style="list-style-type: none"> o การวัดปริมาตร o การจับเวลา o วัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น (รายละเอียดแสดงในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง) o วิเคราะห์ด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค (รายละเอียดแสดงในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง)

3.3.2.2. รายละเอียดวิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งด้วยกริตพอท

1. เติมน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่องให้ล้นออกตลอดเวลา
2. ประกอบกริตพอทที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
3. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์

4. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
5. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายน้ำเข้าไฮโดรไซโคลน
6. ทำการเปิดวาล์ว V - 5 และ V - 10 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5
7. ปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ 0.5, 1.0 , 1.5, 2.0 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นทางไหลทางอ้อม เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดไฮโดรไซโคลน
8. จดบันทึกค่าอัตราการไหลเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เครื่องวัดอัตราการไหลและค่าความดันลด
9. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน
10. นำน้ำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งด้วยกริตพอท

1. เติมน้ำดิบจริงเข้าสู่ถังเก็บน้ำอย่างต่อเนื่องให้ล้นออกตลอดเวลา
2. ประกอบกริตพอทที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
3. เปิดใบกวนเพื่อทำการกวนของผสมภายในถังให้เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์
4. เดินเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
5. เก็บน้ำตัวอย่างที่ทางจ่ายน้ำเข้าไฮโดรไซโคลน
6. ทำการเปิดวาล์ว V - 5, V - 6, V - 7 และ V - 8 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน 75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5
7. ปรับความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ 0.5, 1.0 , 1.5 และ 2.0 บาร์ โดยการปรับอัตราการไหลที่เส้นทางไหลทางอ้อม เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดของไฮโดรไซโคลน
8. จดบันทึกค่าอัตราการไหลเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่เครื่องวัดอัตราการไหลและค่าความดันลด
9. เก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบน
10. นำน้ำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

3.4. วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในผลการทดลองทำโดยใช้มาตรฐานของ Standard method ทั้งนี้วิธีวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	จำนวน	วิธีวิเคราะห์
<ul style="list-style-type: none"> ○ ค่าความขุ่น ○ ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ○ ขนาดอนุภาค 	เก็บน้ำตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง (ตำแหน่งละ 3 ครั้ง)	<ul style="list-style-type: none"> ○ วัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องมือวัดความขุ่น^a ○ วิธีการกรองหาปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended solid) (Standard Methods)^b ○ วิเคราะห์ด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค^c

^a เครื่องมือวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100A Turbidity

^b วิธีที่ 2540 D Total Suspended Solid Dried ที่ 103 - 105^o ซ

^c เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค Mastersizer 2000 with hydro 2000 MU

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท ซึ่งทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่ความดันจ่ายเข้าระหว่าง 0.5 – 2.0 บาร์ และการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทจะทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนสองขนาดเช่นกัน คือ ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ความดันจ่ายเข้า 0.5 – 2.0 บาร์ และใช้เวลาเก็บกักตะกอนในกริตพอท ระหว่าง 1 – 10 ชั่วโมง

ในทุกการทดลอง ทำการเดินระบบแบบเปิดในสถานที่จริง (On-site) คือ ได้สูบน้ำดิบจริงให้ไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำใน Pilot Plant และล้นออกตลอดเวลาการทดลอง เพื่อให้หน้าที่ใช้เป็นตัวแทนจริงของแหล่งน้ำดิบนั้น ๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 การเก็บน้ำตัวอย่างสำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนธรรมดา ตำแหน่งการเก็บน้ำดิบสามารถเก็บที่ท่อสำหรับการไหลอ้อม (by pass) และตำแหน่งในการเก็บน้ำตัวอย่างอีก 2 แห่ง คือ น้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกทางด้านบน (Overflow) นั้นสามารถเก็บได้โดยตรงจากท่อน้ำสำหรับทางออกด้านล่างและทางออกด้านบนที่ต่อออกนอกถังเก็บน้ำพลาสติก ซึ่งการต่อท่อน้ำที่ไหลออกนอกถังเก็บน้ำพลาสติกทั้งสองทางนั้นเพื่อป้องกันน้ำไหลวนกลับเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน ในส่วนของการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างของน้ำดิบและน้ำตัวอย่างที่ไหลออกทางด้านบนเช่นเดียวกับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา ส่วนน้ำตัวอย่างที่สะสมอยู่ในกริตพอทนั้นทำการเก็บน้ำตัวอย่างโดยตรงจากวาล์วน้ำทิ้งของกริตพอทโดยตรง ซึ่งการเก็บน้ำตัวอย่างของการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทนั้น จะเก็บน้ำตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดไว้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3

จากนั้น นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล กลับมาทดลองที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดพารามิเตอร์ ดังนี้คือ ความขุ่น ความเข้มข้นสารแขวนลอย และขนาดอนุภาค ทั้งก่อนและหลังเข้าไฮโดรไซโคลน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ผู้วิจัยนำเสนอออกมาด้วยกัน 6 หัวข้อหลัก คือ ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ความเข้มข้นสารแขวนลอย มวล (ในรูปของ

ภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอย ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา และขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ดังที่จะกล่าวต่อไป

4.1. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

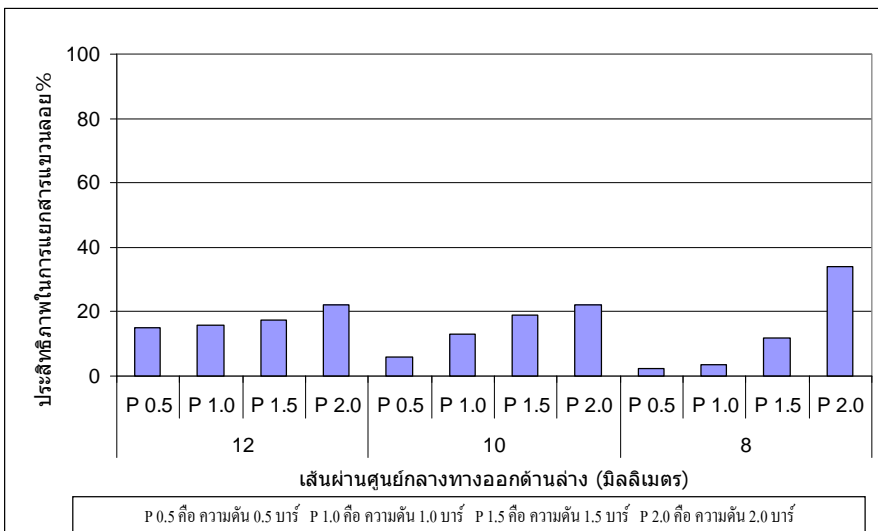
จากทฤษฎีที่กล่าวมาในบทที่ 2 ถึงประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคในแง่ของมวล คือ ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) และประสิทธิภาพลด (Reduce efficiency) โดยการหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนของงานวิจัยนี้ได้ใช้ประสิทธิภาพลด (Reduced total efficiency) ในการบ่งบอกประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลนมากกว่า ประสิทธิภาพรวม (Total efficiency) เนื่องจากประสิทธิภาพลดได้คำนึงถึงผลของการแบ่งอัตราการไหลด้วย

ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20 ดังสมการต่อไปนี้

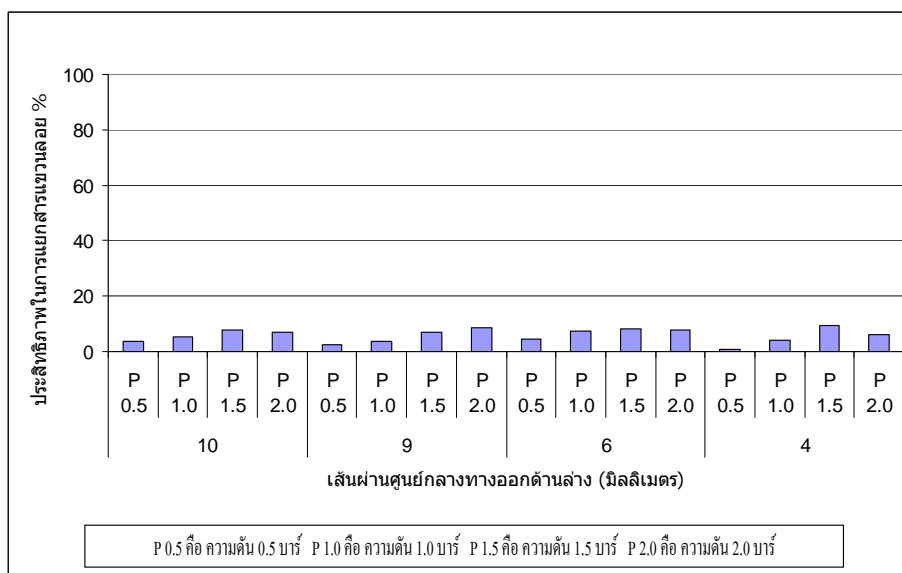
$$E'_T = \frac{Q_u (C_u - C_f)}{Q_o C_f} \times 100 \quad (2.20)$$

4.1.1. ผลการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

ผลการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ด้วยไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ดังในรูปที่ 4.1 และ 4.2 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข.1.1 และ ข.1.3) ซึ่งมีค่าระหว่าง 2 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตรที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

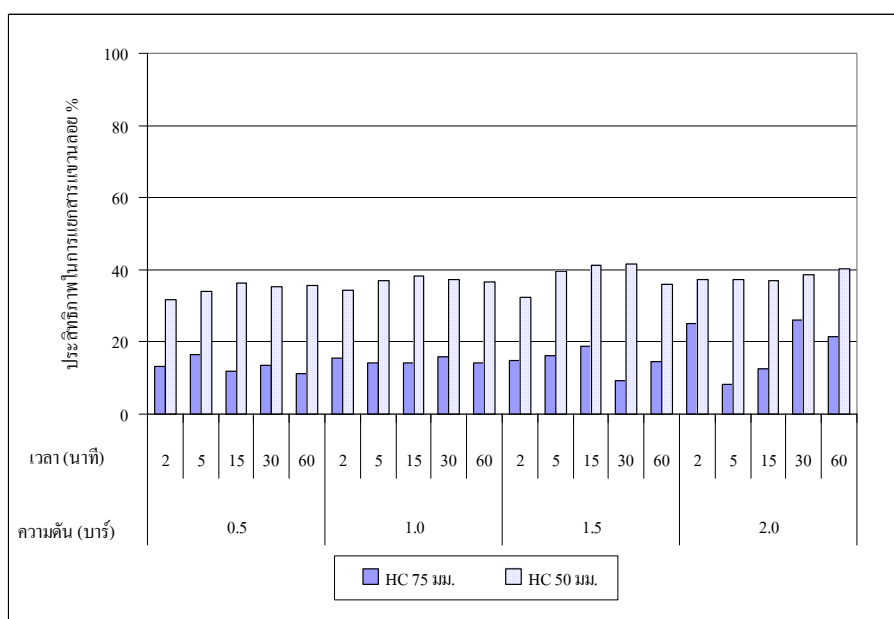


รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

และประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกิริตพทสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.22 ดังสมการต่อไปนี้

$$E'_T = \frac{Q_f C_f T - Q_o C_o T}{Q_f C_f T} \times 100 \quad (2.22)$$

ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร (แสดงในภาคผนวกตาราง ข.1.2 และ ข.1.4) ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ เช่นกัน ดังในรูปที่ 4.3 โดยใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทตั้งแต่ 1 - 3600 วินาที มีค่าระหว่าง 8 ถึง 42 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์



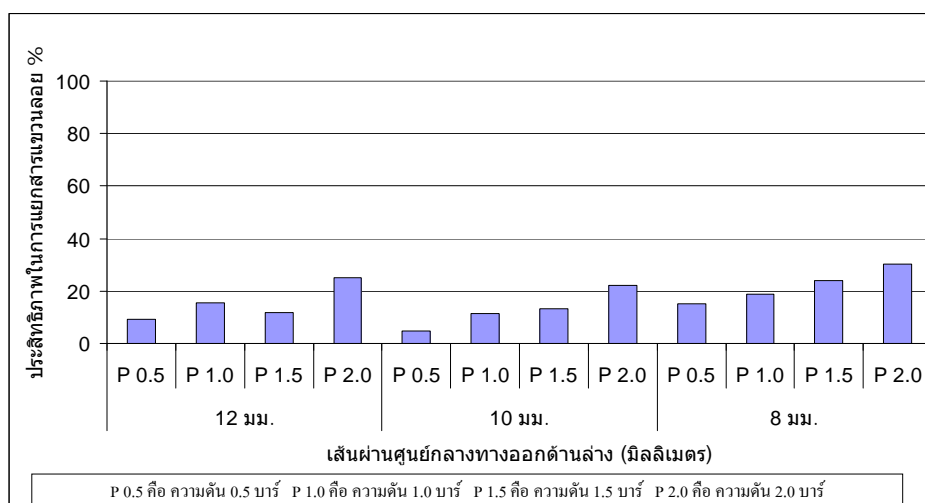
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

เนื่องจากน้ำดิบที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนเป็นน้ำดิบจริงที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยต่ำและมีอนุภาคขนาดเล็กเฉลี่ยประมาณ 5.6 ไมครอน ทำให้การแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนนั้นไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนัก จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนทั้งสองขนาดนั้น มีประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งหมด ผู้ทำวิจัยจึงได้คาดว่าถ้าทำการเปลี่ยนสถานที่ทดลองจากโรงกรองน้ำ

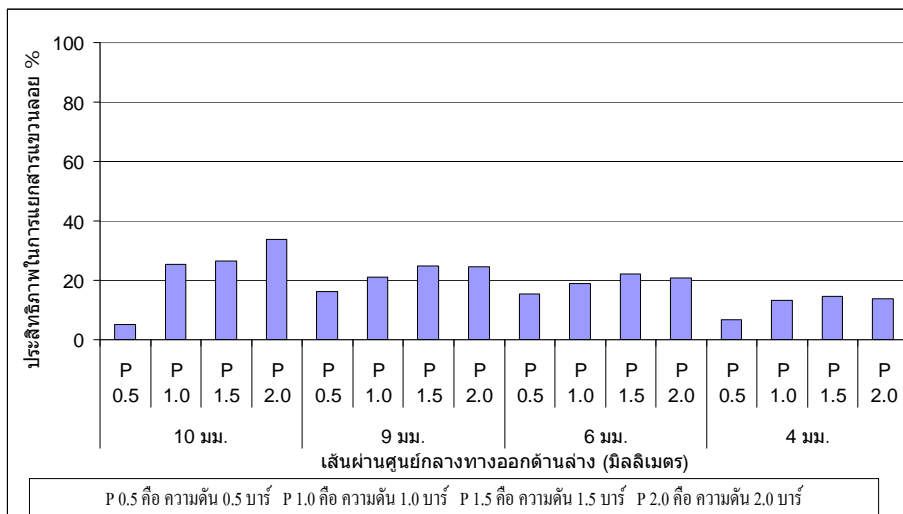
สามเสน 2 เป็นสถานีสูบน้ำดิบสำแล น้ำดิบน่าจะมีความเข้มข้นสารแขวนลอยมากกว่าและขนาดอนุภาคน่าจะใหญ่กว่า เนื่องจากเป็นปากทางเข้าของน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาลงสู่คลองประปาโดยตรง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยน่าจะสูงขึ้น จึงเป็นเหตุให้เลือกทดลองเพิ่มเติมที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

4.1.2. ผลการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

จากผลการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลด้วยไฮโดรไซโคลนมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร (แสดงในภาคผนวกตาราง ข.1.5 และ ข.1.7) ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ แสดงอยู่รูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยมีค่าระหว่าง 5 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเฉลี่ยอยู่ที่ 18 เปอร์เซ็นต์

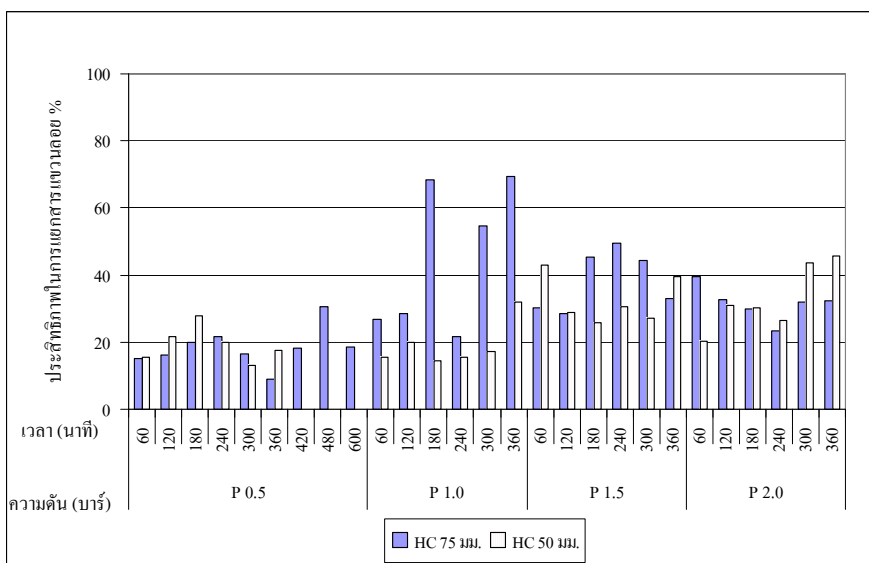


รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

สำหรับผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร (แสดงในภาคผนวกตาราง ข.1.6 และ ข.1.8) ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ เช่นกัน ดังในรูปที่ 4.6 โดยใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทตั้งแต่ 1 - 600 นาที มีค่าระหว่าง 9 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนของเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ความดัน 1.0 บาร์ มีค่าสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในช่วงเวลาอื่นมาก เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการทดลองชุดดังกล่าวนี้ มีเหตุการณ์น้ำท่วมมาจากภาคเหนือ ซึ่งพัดพาตะกอนมาเข้าสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาจะไหลเข้าสู่สถานีสูบน้ำสำแลซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการรับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลองประปาตะวันออก ทำให้ความเข้มข้นที่เข้าสู่สถานีสูบน้ำดิบในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงกว่าปกติ มีค่าประมาณ 105 มก./ล. โดยที่ความเข้มข้นในช่วงเวลาปกติจะมีค่าประมาณ 20 – 40 มก./ล. และจากการทดลองหาความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้ สามารถนำไปคำนวณหามวลได้ และจากการคำนวณหาผล (แสดงในตาราง ข.1.6) พบว่า มวลที่สะสมอยู่ในกริดพอทในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงกว่าช่วงเวลาปกติ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนในช่วงเวลานั้นมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลาปกติ (ดังแสดงในรูปที่ 4.6) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ถ้าความเข้มข้นสารแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.1.3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล

การทดลองหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ตัวแปรที่นำมาใช้คำนวณหาประสิทธิภาพ ได้แก่ อัตราการไหล และความเข้มข้นสารแขวนลอย ทั้งสามเส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลน ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอย (ดังที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.2) ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีค่าต่ำกว่าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล และจากการคำนวณหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยที่สถานีสูบน้ำดิบมีแนวโน้มสูงกว่าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ถ้าความเข้มข้นสารแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง)

สถานที่	ประสิทธิภาพ (%)	ไม่ติดตั้งกริดพอท		ติดตั้งกริดพอท		เฉลี่ย
		HC 75	HC 50	HC 75	HC 50	
สามเสน		16	6	15	37	18.5
ลำแล		17	19	32	26	23.5

งานวิจัยนี้ได้ใช้ดิบจริง ซึ่งมีความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ต่ำมากประมาณ 20 – 105 มก./ล. พบว่า ความเข้มข้นจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลอนอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอน กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลอนมีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มของประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองในส่วนขอประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนจากงานวิจัยนี้ ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 และทฤษฎีของ Bradley, 1965 ที่กล่าวไว้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลอนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอย สาเหตุที่เป็นเช่นนั้น อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัยของ Puprasert, 2004 อยู่ในช่วง 1 – 3 กรัม/ลิตร แต่ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำดิบจริงในการทดลองซึ่งมีค่าความเข้มข้นสารแขวนลอยต่ำ อยู่ในช่วง 20 – 105 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่างานวิจัยของ Puprasert, 2004 และทฤษฎีของ Bradley, 1965 มาก ดังนั้นการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นที่ต่ำมาก ๆ นี้ ความเข้มข้นจ่ายเข้าอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนได้

และเมื่อผู้ทำวิจัยทดลองหาขนาดอนุภาคในน้ำดิบ (ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.6) พบว่าขนาดอนุภาคสารแขวนลอยที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 5.6 ไมครอน และที่สถานีสูบน้ำดิบลำแล มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 9.8 ไมครอน ซึ่งเมื่อพิจารณากับสมการกฎของสโตก จะเห็นได้ว่า เมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ในกรณีที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยและขนาดอนุภาคที่เข้าไฮโดรไซโคลอนมีค่าต่ำมากนั้น ความเข้มข้นสารแขวนลอยและขนาดอนุภาคเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอน กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่าย

เข้าเพิ่มขึ้นและขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.1.4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา กับ ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนระหว่างไฮโดรไซโคลนกับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.6) พบว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำกว่าไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ซึ่งผลการวิจัยที่ได้นั้น ผู้ทำวิจัยคาดว่า น้ำดิบที่นำมาใช้เป็นน้ำดิบจริงที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยง่ายเข้าต่ำ และส่วนของการทดลองหาความเข้มข้นสารแขวนลอยและการหาขนาดอนุภาคที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท พบว่า สารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ไหลเข้าสู่กริตพอท เกิดการสะสมตัวอยู่ภายในกริตพอท ส่วนอนุภาคขนาดเล็กบางส่วนไหลย้อนไปออกทางด้านบน และจากการหาความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้ที่ทางออกด้านบน พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนกับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ผู้ทำวิจัยได้สังเกตเห็นว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ก้นกริตพอทมีความเข้มข้นสารแขวนลอยไม่เต็มกริตพอท แต่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมในกริตพอทนั้นมีมากกว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้ดังกล่าวมาคำนวณหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมีมากกว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

จากผลการวิจัยที่ได้นี้มีความขัดแย้งกับผลการวิจัยของ Puprasert, 2004 ที่กล่าวไว้ว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา 5 – 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้วิจัยคาดว่า เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองด้วยน้ำดิบจริงและมีความเข้มข้นสารแขวนลอยน้อยกว่าประมาณ 52 - 115 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Puprasert, 2004 และในงานวิจัยนี้ การสะสมตะกอนในกริตพอทที่ไม่เต็มกริตพอทเหมือนกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 ทำให้ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า ถ้าตะกอนที่สะสมมีไม่เต็มกริตพอท ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมีค่ามากกว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

4.1.5. เปรียบเทียบการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนกับการแยกสารแขวนลอยในระบบผลิตน้ำประปาปัจจุบัน

ปัจจุบันการแยกสารแขวนลอยในระบบผลิตน้ำประปานั้น จะใช้การตกตะกอนด้วยถังตกตะกอน ซึ่งการแยกสารแขวนลอยด้วยการตกตะกอนนั้น เป็นวิธีการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก และการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนนั้นจะใช้เวลาค่อนข้างมากในการจมตัวของตะกอนสู่ก้นถังตกตะกอน เพื่อรวบรวมตะกอนไปบำบัด แต่จะมีประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยประมาณ 50 - 80 เปอร์เซ็นต์ (เกรียงศักดิ์, 2542) ในขณะที่การแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนนั้นจะใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำใส ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่หรือของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นสูงจะไหลออกทางด้านล่าง (Underflow) ส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำใสและอนุภาคขนาดเล็กหรือของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำจะไหลขึ้นและออกทางด้านบน (Overflow) ไฮโดรไซโคลนจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกระบวนการแยกสารชนิดอื่น และจากการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนที่ได้มีค่าประมาณ 5 - 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำไฮโดรไซโคลนมาใช้จะทำให้ประหยัดพื้นที่ในการตกตะกอนสารแขวนลอยมากกว่าการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนมาก

เมื่อเปรียบเทียบการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไซโคลนกับการแยกสารแขวนลอยในระบบผลิตน้ำประปาปัจจุบัน อาจกล่าวได้ว่า การแยกสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้นต่ำและมีอนุภาคขนาดเล็ก (ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.6) การนำไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร มาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาไม่น่าจะเหมาะสมต่อการแยกสารแขวนลอยในน้ำดิบ ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล และจากการทดลองลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน พบว่า เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนจะส่งผลให้แนวโน้มของประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัย มีความเห็นว่า ควรนำไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็กกว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร มาใช้แยกสารแขวนลอยในน้ำดิบก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา เพื่อให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

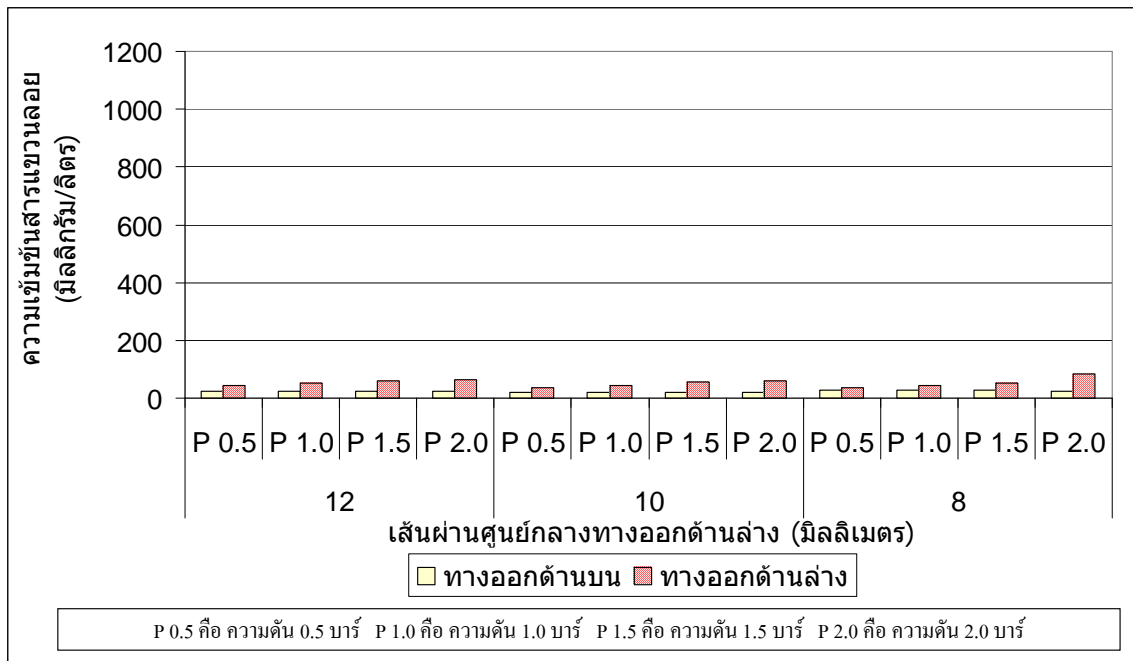
4.2. ความเข้มข้นของสารแขวนลอย

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยจะแปรตามความชุ่ม กล่าวคือ ถ้าความชุ่มในน้ำดิบเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน เนื่องจากการทดลองทั้งหมดใช้น้ำดิบจริง ดังนั้นความชุ่มที่ได้ในแต่ละการทดลองมีค่าแตกต่างกันตามสภาวะแวดล้อมของน้ำดิบในขณะนั้น เช่น เมื่อมีน้ำท่วมจากภาคเหนือไหลลงมาสู่แม่น้ำเจ้าพระยาและไหลเข้าสู่คลองประปา ความชุ่มที่วัดได้ในช่วงนี้จะมีค่ามากกว่าค่าความชุ่มปกติ

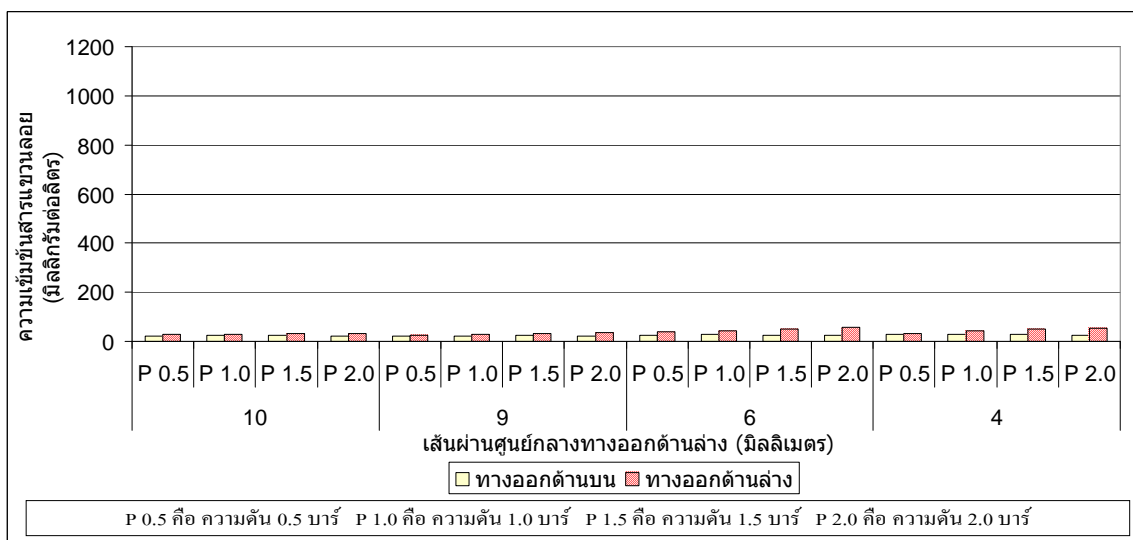
จากผลการทดลองพบว่า ความชุ่มที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะน้ำดิบที่ได้จากคลองประปา ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการทดลอง จากการทดลอง พบว่า ความชุ่มที่ได้จากทางออกด้านบนจะมีค่าน้อยกว่าความชุ่มที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเสมอ ในทางกลับกันความชุ่มที่ออกทางด้านล่างจะมีค่ามากกว่าความชุ่มที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 1.1 ถึง ก. 1.8) ซึ่งความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านล่างจะเปลี่ยนแปลงตามความดันจ่ายเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนของกритพอท

4.2.1. ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกритพอท

ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกритพอทที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.1) มีความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเฉลี่ย 33 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 37 - 84 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบนมีค่าต่ำกว่าและมีค่าอยู่ระหว่าง 21 - 27 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 – 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.2) พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าเฉลี่ย 28 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 26 - 59 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบนมีค่าต่ำกว่าและมีค่าอยู่ระหว่าง 21 - 28 มิลลิกรัมต่อลิตร

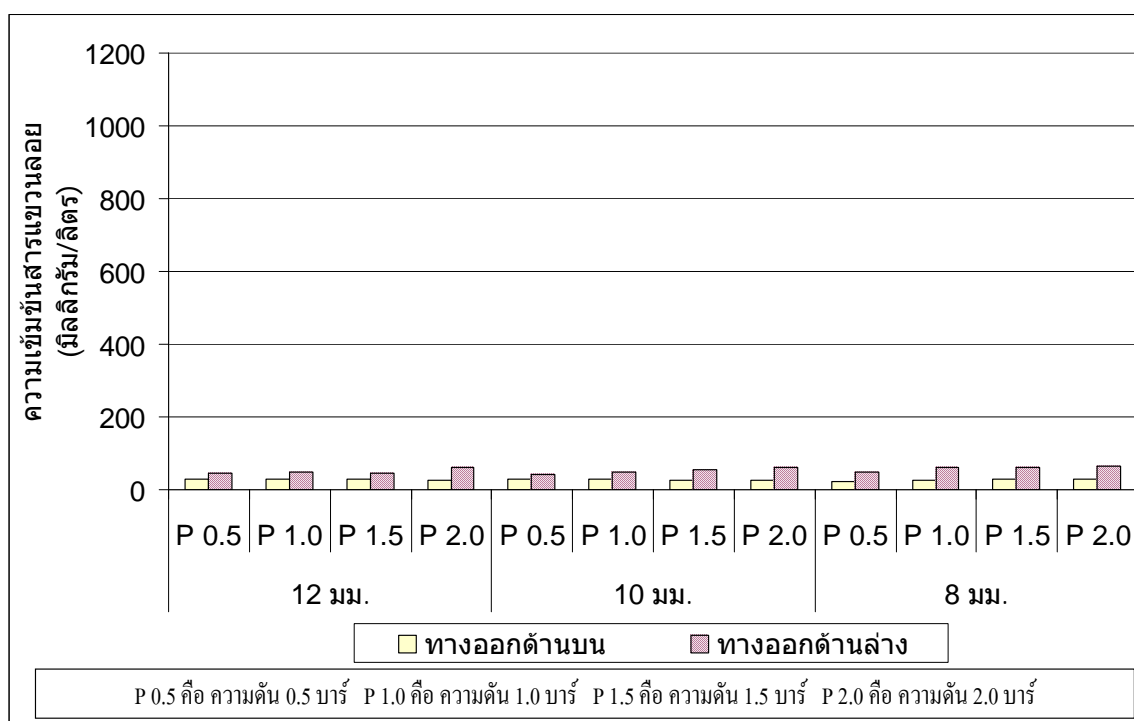


รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ดำเนินการที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

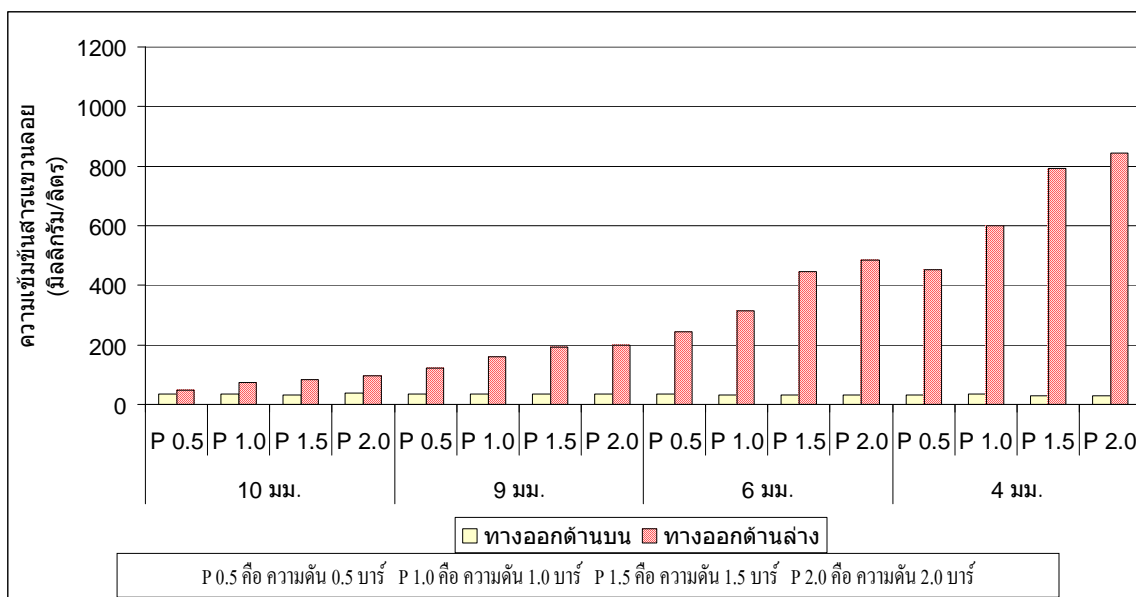


รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ดำเนินการที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอทที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ด้วยความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.5) มีความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเฉลี่ย 31 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 43 - 63 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบนมีค่าต่ำกว่าและมีค่าอยู่ระหว่าง 24 - 29 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 – 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.6) พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าเฉลี่ย 39 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 50 - 843 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบนมีค่าต่ำกว่าและมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 38 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล



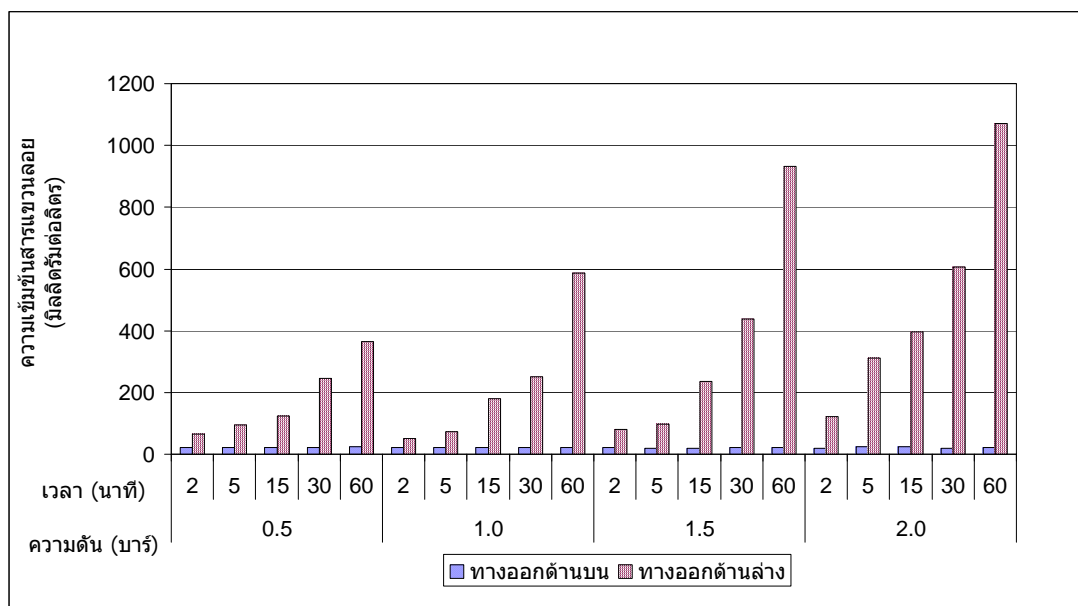
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

4.2.2. ผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

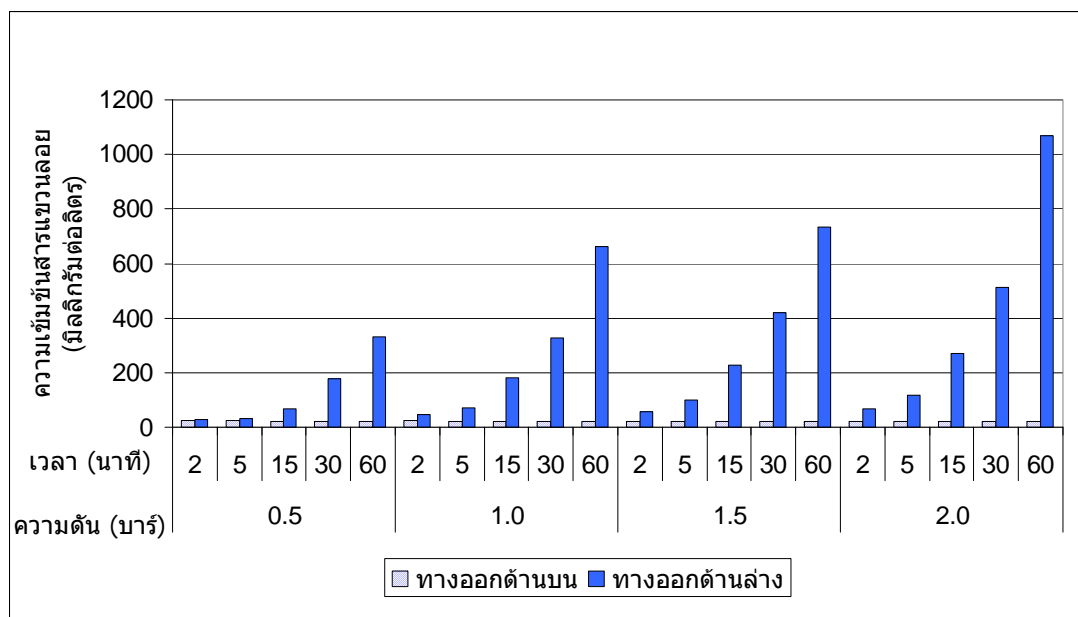
ผลการทดลองหาความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทพบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนเกิดการสะสมตัวอยู่ในกริตพอทและความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่นั้น จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสะสมตะกอนในกริตพอท

ผลการทดลองที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทตั้งแต่ 1 – 3600 วินาที โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.3) พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 26 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทระหว่าง 52 - 1,070 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกด้านบนมีค่าต่ำกว่าระหว่าง 20 – 25 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.4) พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสม

ตัวในกริตพอทระหว่าง 28 - 1,067 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกด้านบนมีค่าต่ำระหว่าง 20 - 24 มิลลิกรัมต่อลิตร

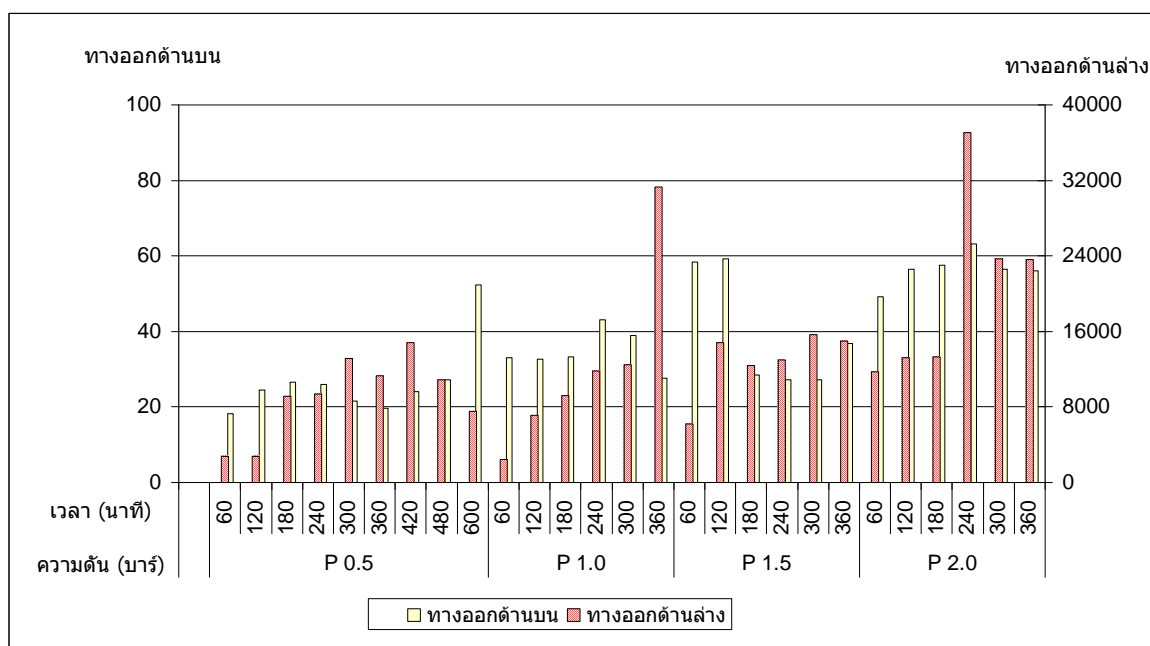


รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ดำเนินการที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

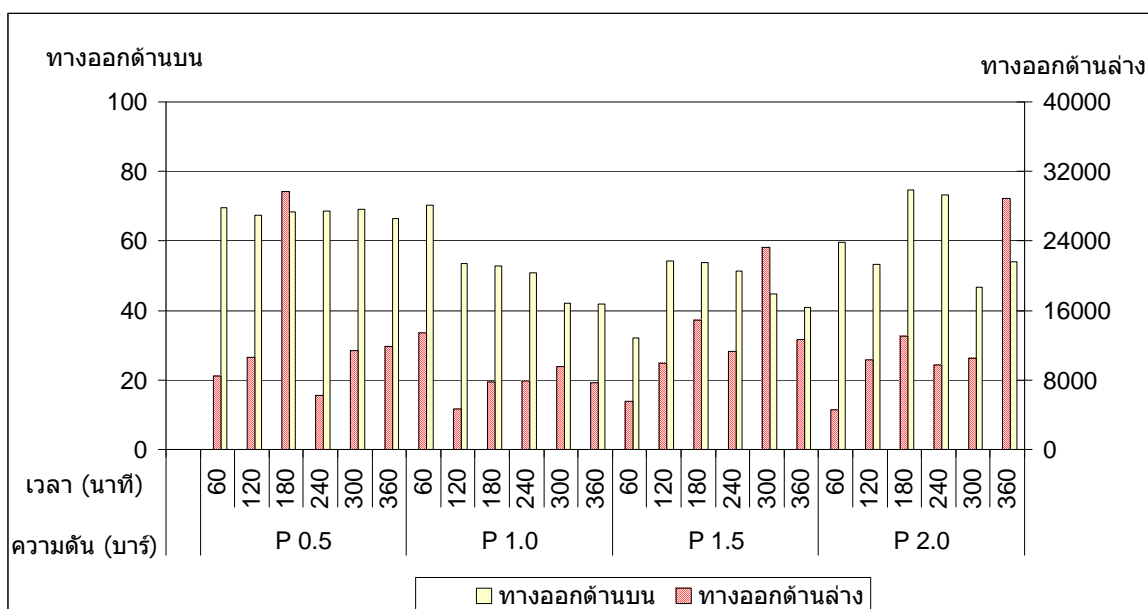


รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ดำเนินการที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

ในส่วนของการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทตั้งแต่ 1 – 600 นาที โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.7) พบว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 59 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทระหว่าง 2,392 – 37,104 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกด้านบนมีค่าต่ำระหว่าง 18-63 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (แสดงในภาคผนวกตาราง ก. 2.8) พบว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 77 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวในกริตพอทระหว่าง 4,570 – 29,688 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกด้านบนมีค่าต่ำระหว่าง 32 - 75 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไฮโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

4.2.3. เปรียบเทียบความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้ระหว่างโรงกรองน้ำสามเสน 2 กับสถานีสูบน้ำดิบสำแล

จากการทดลองทั้งหมดข้างต้นที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีความเข้มข้นแขวนลอยต่ำกว่าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล เนื่องจากลักษณะน้ำดิบที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำดิบจริงที่มาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ไหลเข้าสู่สถานีสูบน้ำดิบสำแลและจ่ายมายังคลองประปาตะวันออกเข้าสู่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งมีระยะทางห่างกันประมาณ 34 กิโลเมตร ดังนั้นสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนระหว่างทางจากสถานีสูบน้ำดิบสำแลก่อนเข้าสู่โรงกรองน้ำสามเสน 2 บางส่วน ทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีค่าต่ำกว่าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองของฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพน้ำโรงกรองน้ำสามเสน

4.2.4. เปรียบเทียบความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

จากการหาความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา พบว่า สารแขวนลอยขนาดใหญ่ (จากการหาขนาดอนุภาค กล่าวในหัวข้อที่ 4.6) ไหลออกทางด้านล่างด้วยกระแสนอกและสารแขวนลอยขนาดเล็ก/น้ำหนักเบา ไหลย้อนออกไปยังทางออกด้านบนด้วยกระแสนภายใน และผลการทดลองที่ได้ในส่วนของความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท พบว่า สารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ไหลเข้าสู่กริตพอทด้วยกระแสนอก ไหลเข้าสู่กริตพอทและจมตัวลงสะสมอยู่ที่ก้นกริตพอท ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก/น้ำหนักเบา ไหลย้อนออกไปยังทางออกด้านบนด้วยกระแสนภายใน (วาล์วสำหรับทิ้งตะกอนในกริตพอทไม่ได้เปิดออกในขณะที่เดินระบบ) ทำให้สารแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมีความเข้มข้นที่สะสมตัวในกริตพอทมากกว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ซึ่งจากการทดลองในส่วนนี้ พบว่าสอดคล้องกับทฤษฎีของ Puprasert, 2004 ที่กล่าวว่า กริตพอททำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอนขนาดเล็ก สารแขวนลอยที่ไหลออกจากทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนเข้าสู่กริตพอทเกิดการตกตะกอนและสะสมตัวอยู่ภายในกริตพอทดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นสารแขวนลอยในกริตพอทที่เริ่มต้นการทดลองเมื่อทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

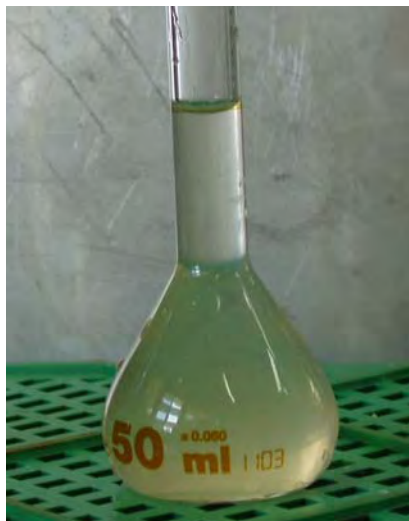


รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริดพอทเมื่อเวลาผ่านไป 5.45 ชั่วโมง เมื่อทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริดพอทที่ทางออกด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ชนิด พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นการติดตั้งกริดพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบน



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านบนด้วยไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา



รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านบนด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

4.3. มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน

4.3.1 มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

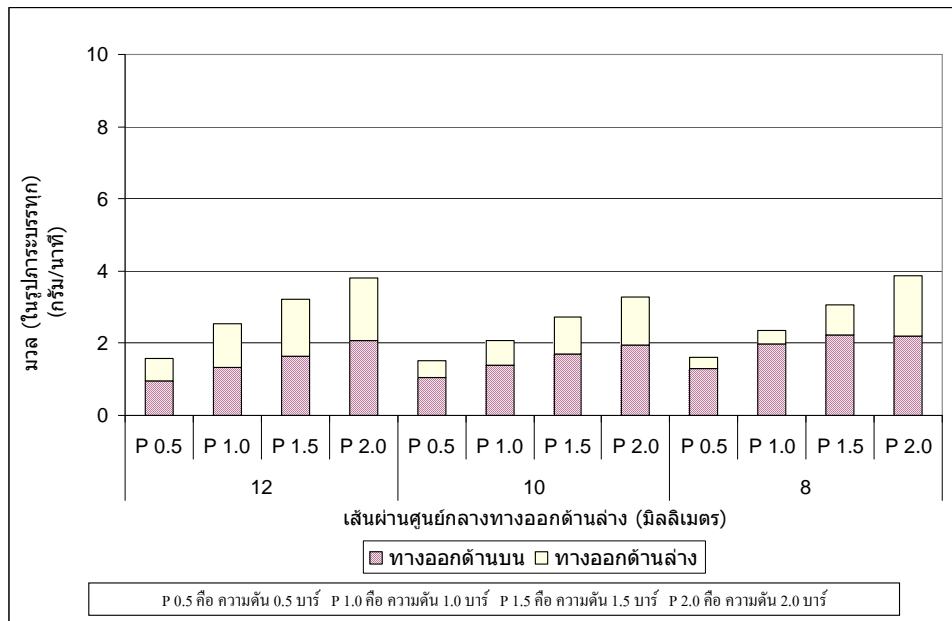
ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนสามารถกล่าวได้ในรูปของมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ซึ่งในหัวข้อนี้ ได้นำผลการทดลองที่ได้ในรูปของความเข้มข้นสารแขวนลอยดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1. มาคำนวณให้อยู่ในรูปของมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา โดยนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง เช่น อัตราการไหล ความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบ ของโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล ซึ่งในตอนนี้จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ การคำนวณในส่วนของไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทและไม่ได้ติดตั้งกริตพอท ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร

การคำนวณมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนสามารถหาได้จากการทำดุลมวลของทางเข้าและทางออกของไฮโดรไซโคลนทั้งสามเส้นทาง ดังนั้นเมื่อนำความเข้มข้นสารแขวนลอยที่เข้าไฮโดรไซโคลน (Feed) ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่าง (Underflow) และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบน (Overflow) คูณกับอัตราการไหลในแต่ละเส้นทาง

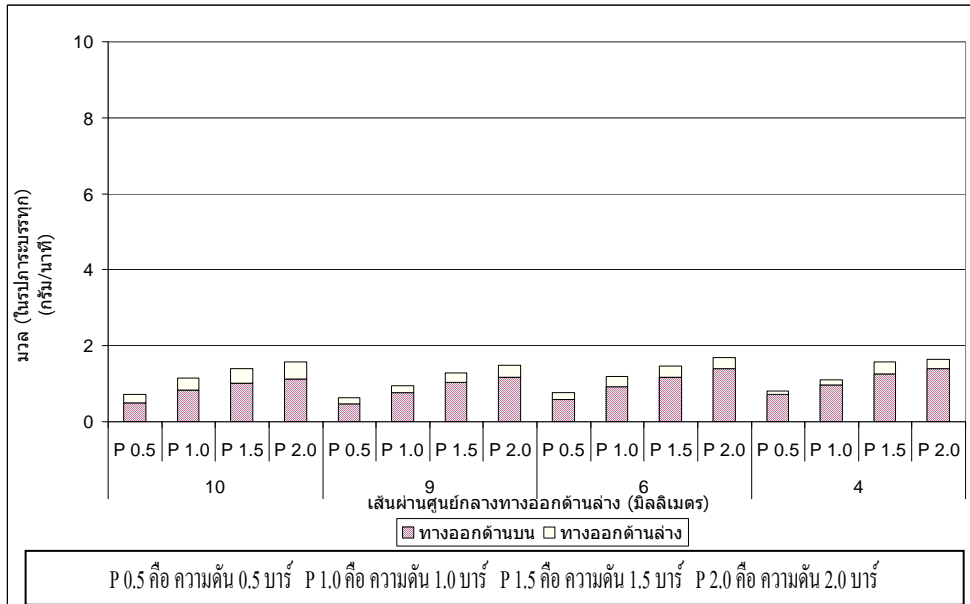
การไหล ก็จะได้มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่เข้าและออกจากไฮโดรไซโคลน ผลการคำนวณที่ได้จะอยู่ในรูปของหน่วยน้ำหนักต่อเวลา (ตัวอย่างรายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

จากการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนมีปริมาณน้อยกว่ามวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ไหลออกทางด้านบน ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จากการหาความเข้มข้นสารแขวนลอยในแต่ละเส้นทางนั้น พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างจะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านบน แต่ในขณะเดียวกันอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างจะมีปริมาณน้อยกว่าอัตราการไหลที่ทางออกด้านบนเช่นกัน ดังนั้นจากการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านล่างจะมีค่ามากแต่อัตราการไหลน้อย มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกมาได้นั้นจะมีค่าน้อยเช่นกัน

จากผลการคำนวณ (ภาคผนวกตาราง ข.1.1) ที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 – 1.0 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 2.9 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 1.0 – 2.2 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 0.3 – 1.8 กรัมต่อนาที และจากการคำนวณ (ภาคผนวกตาราง ข.1.3) ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 – 10 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 1.2 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกด้านบนมีค่าระหว่าง 0.5 – 1.4 กรัมต่อนาที และมวลที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 0.1 – 0.4 กรัมต่อนาที

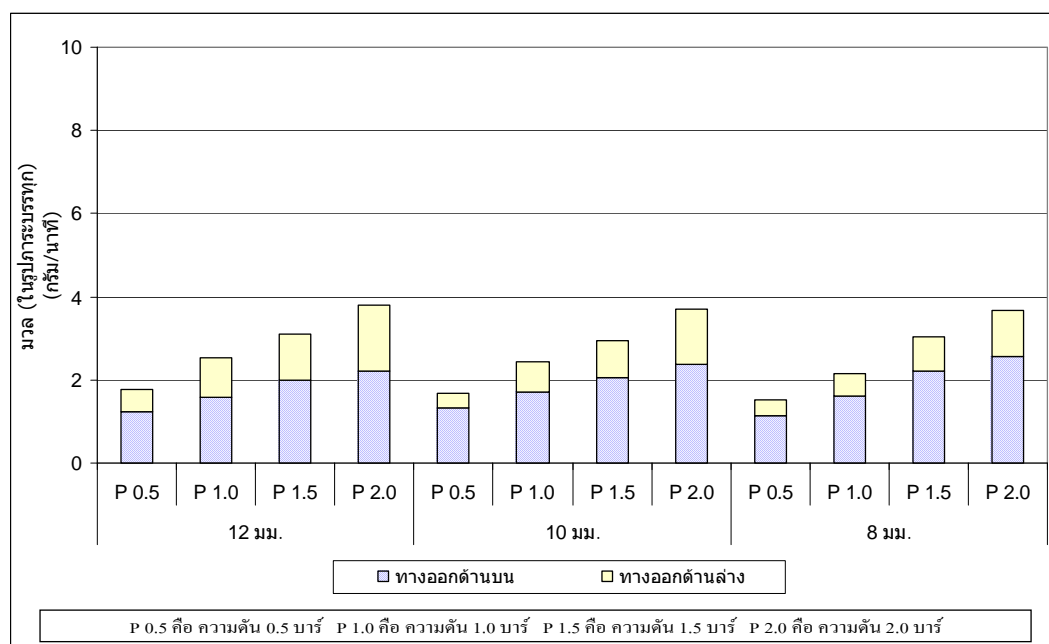


รูปที่ 4.19 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเส้น 2)

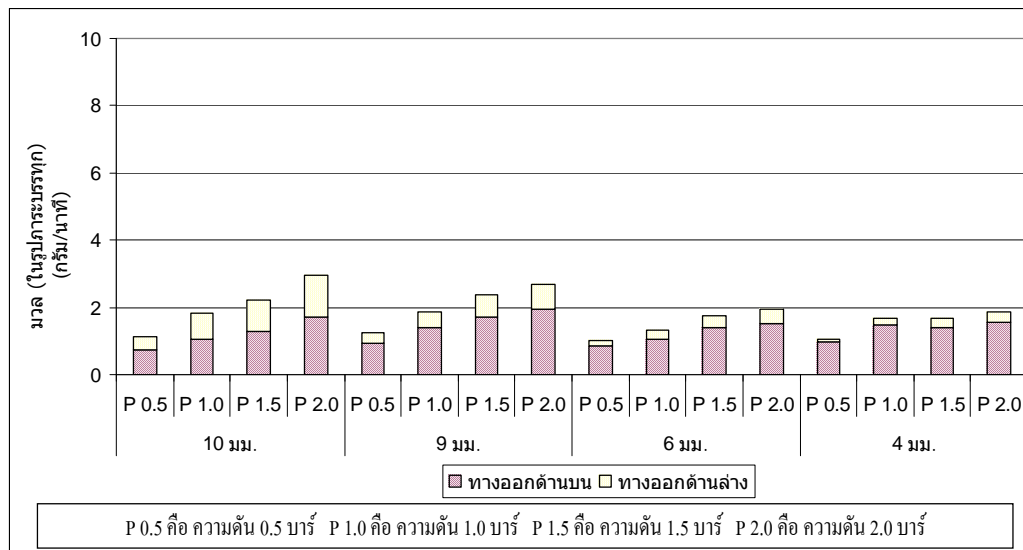


รูปที่ 4.20 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเส้น 2)

จากผลการคำนวณที่ได้จากสถานีสูบน้ำดิบสำแล ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 – 1.0 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.5) พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 2.6 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 1.1 – 2.6 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 0.3 – 1.6 กรัมต่อนาที และจากการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 – 10 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.7) พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 1.7 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกด้านบนมีค่าระหว่าง 0.7 – 2.0 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าระหว่าง 0.1 – 1.2 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.21 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)



รูปที่ 4.22 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

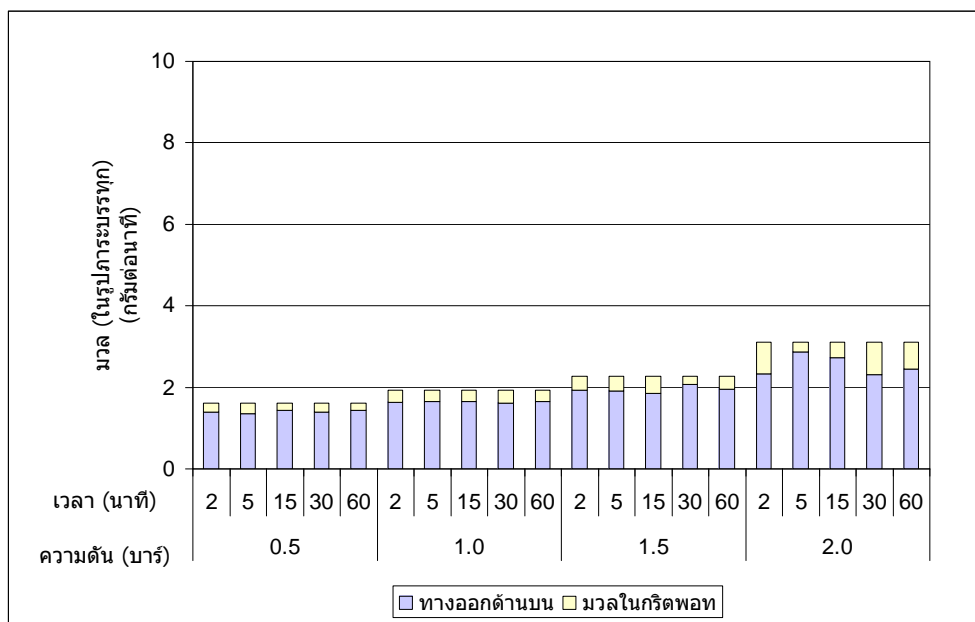
หมายเหตุ มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนเท่ากับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ออกทางด้านล่างรวมกับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ออกทางด้านบน

จากผลการคำนวณทั้งหมดข้างต้น พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ออกทางด้านล่างมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนและมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบน ทั้งจากโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล และจากผลการทดลองในส่วนของการหาขนาดอนุภาค พบว่า สารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีขนาดเล็กเช่นกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาไม่เหมาะกับการนำมาแยกสารแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบและขนาดอนุภาคสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำ อาจกล่าวได้ว่า อนุภาคสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนมีขนาดเล็ก ความหนาแน่นของสารแขวนลอยก็มีค่าต่ำ ดังนั้นโอกาสของสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนจะถูกเหวี่ยงออกไปยังผนังของไฮโดรไซโคลนและไหลออกทางด้านล่างนั้นมีโอกาสน้อย ทำให้มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกมาทางด้านล่างมีค่าต่ำ (ดังที่จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.4)

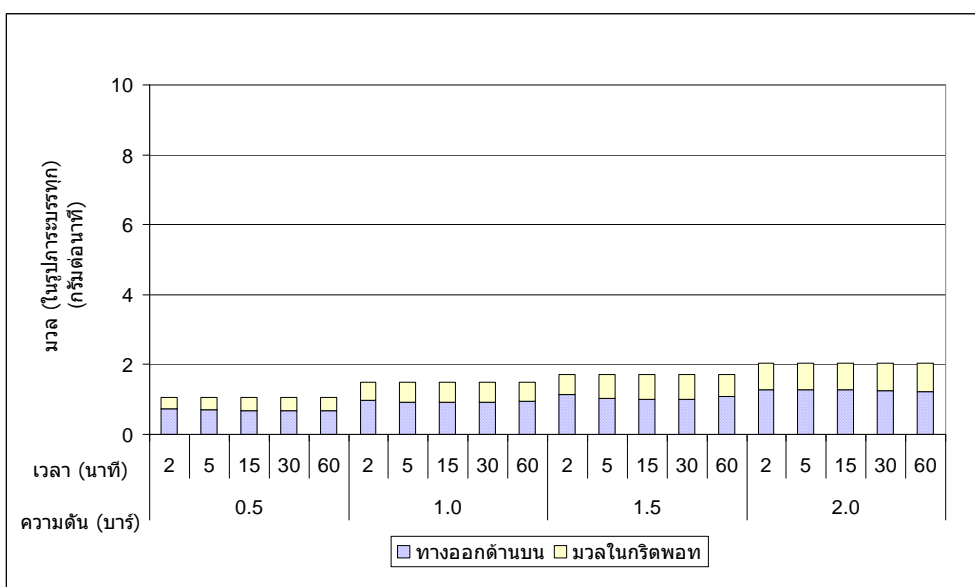
4.3.2. มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไฮโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

การคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ในส่วนของไฮโดรไฮโคลนที่ติดตั้งกริตพอทจะต่างกับไฮโดรไฮโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท คือ มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่จ่ายเข้าและมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนจะคำนวณอย่างเดียวกันกับการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ในส่วนของไฮโดรไฮโคลนแบบธรรมดา แต่มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมอยู่ในกริตพอทจะคำนวณโดยใช้มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่จ่ายเข้าลบกับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนของไฮโดรไฮโคลน ผลการคำนวณที่ได้จะอยู่ในรูปของหน่วยน้ำหนักต่อเวลา (ตัวอย่างรายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

จากผลการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ได้ในส่วนของโรงกรองน้ำสามเสน 2 ด้วยไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท คือ 120 300 900 1800 และ 3600 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.2) พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 2.2 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 1.4 – 2.9 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 กรัมต่อนาที และจากผลการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ได้จากการทดลองด้วยไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท คือ 120 300 900 1800 และ 3600 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.4) พบว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 1.6 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 0.7 – 1.3 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.8 กรัมต่อนาที

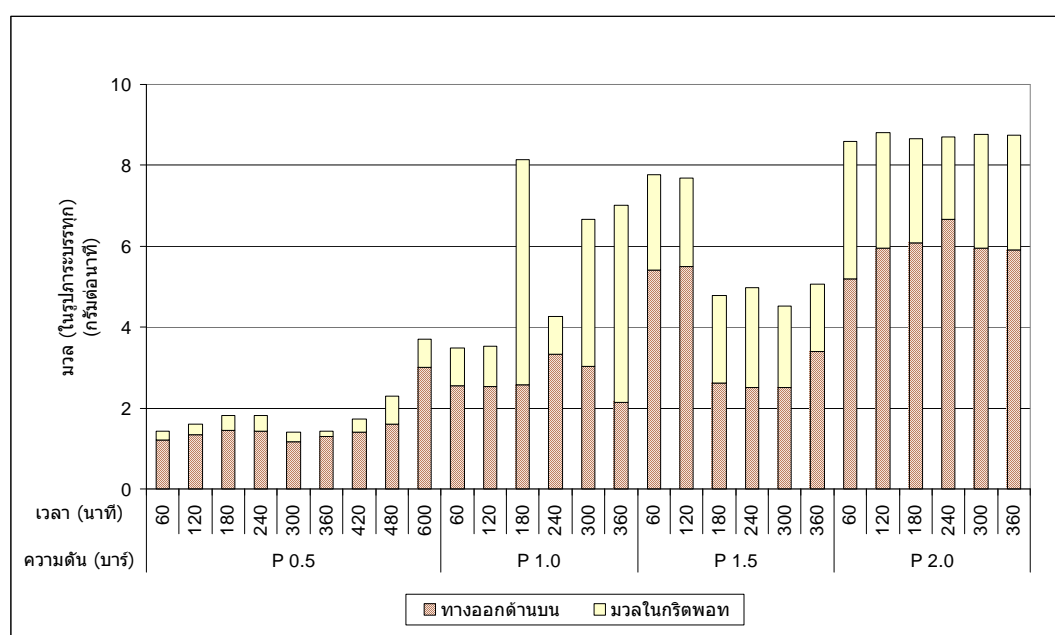


รูปที่ 4.23 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริดพอท (โรงกรองน้ำสามเส้น 2)

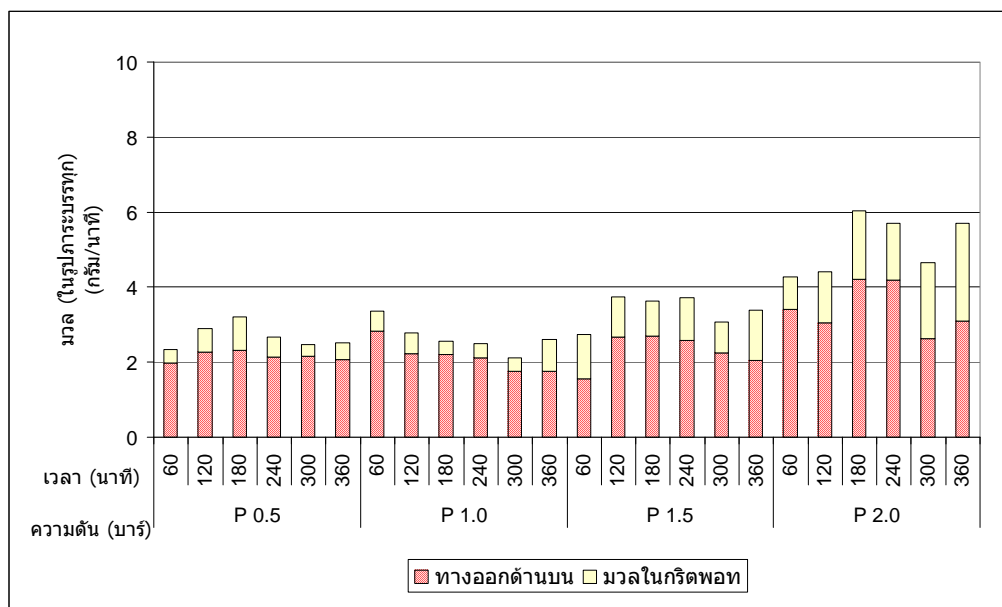


รูปที่ 4.24 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริดพอท (โรงกรองน้ำสามเส้น 2)

จากการคำนวณมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ในส่วนของสถานีสูบน้ำดิบสำแล ด้วยไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท คือ 60 120 180 240 300 360 420 480 540 และ 600 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.6) พบว่า มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 5.1 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 1.2 – 6.7 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 – 5.6 กรัมต่อนาที และจากผลการคำนวณมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่ได้จากการทดลองด้วยไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท คือ 60 120 180 240 300 360 420 480 540 และ 600 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.26 (แสดงในภาคผนวกตาราง ข. 1.8) พบว่า มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) จ่ายเข้าเฉลี่ยมีค่า 3.5 กรัมต่อนาที มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่าระหว่าง 1.6 – 4.2 กรัมต่อนาที และมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 – 2.6 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.25 มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไฮโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)



รูปที่ 4.26 มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

หมายเหตุ มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนเท่ากับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมอยู่ในกริตพอทรวมกับมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ออกทางด้านบน

จากรูปที่ 4.23 ถึง 4.26 จะเห็นได้ว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนมีค่ามากกว่ามวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมอยู่ในกริตพอท และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่ได้จากโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล จะเห็นได้ว่า มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมในกริตพอทของสถานีสูบน้ำดิบสำแลจะมีค่ามากกว่ามวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่สะสมตัวในกริตพอทที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 เนื่องจากมีความเข้มข้นสารแขวนลอยมากกว่าและขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนใหญ่กว่าที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนนี้ พบว่า ความเข้มข้นจ่ายเข้าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลจะมีความเข้มข้นมากกว่าโรงกรองน้ำสามเสน 2 และมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาและมวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีความคล้ายกัน คือ มวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนจะมีค่ามากกว่ามวล (ในรูปของภาวะบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่าง ในขณะที่ผลการทดลองที่ได้จากสถานีสูบน้ำดิบสำแล ผลการทดลองที่ได้นั้นมีความแตกต่างออกไป กล่าวคือ เมื่อทดลองด้วยไฮโดรไซโคลน

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่ความดัน 1.0 บาร์ ที่เวลาเก็บตะกอนในกริตพอท 180 300 และ 360 นาที นั้น มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากทางออกด้านบนนั้น จะมีค่าน้อยกว่ามวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้จากทางออกด้านล่าง เนื่องจากสารแขวนลอยที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนในช่วงเวลาที่ทดลองดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.25 นั้น มีความเข้มข้นสารแขวนลอยมากกว่าปกติ ทำให้มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่ามากกว่ามวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่ออกทางด้านบน และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในส่วนนี้กับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา พบว่าผลการทดลองที่ได้นั้นจะมีความคล้ายคลึงกัน

งานวิจัยนี้ได้นำน้ำดิบจริงมาใช้ในการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองหาความเข้มข้นสารแขวนลอยจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้ามีค่อนข้างต่ำ ทำให้การนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปานั้น ช่วยลดสารแขวนลอยได้เพียงเล็กน้อย และจากผลการทดลอง พบว่า มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนจะมีค่ามากกว่ามวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่าง ในขณะที่เดียวกันจะสังเกตได้ว่า ผลการทดลองที่ได้จากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ความดัน 1.0 บาร์ ที่เวลาเก็บตะกอนในกริตพอท 180 300 และ 360 นาที ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล มีความแตกต่างออกไป คือ มวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านบนจะมีค่าน้อยกว่ามวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่าง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ พบว่า ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีของ Bradley, 1965 ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1.2. ดังนั้นการนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาควรมีค่าความเข้มข้นสารแขวนลอยในระดับหนึ่ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Puprasert, 2004 ที่กำหนดความเข้มข้นของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัยคือ 1 และ 3 กรัมต่อลิตร จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในงานวิจัยนี้มีความเข้มข้นจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลมีค่าประมาณ 25 - 107 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 จะมีค่าน้อยกว่าประมาณ 61 เท่า แต่จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนนี้ อาจกล่าวได้ว่า สำหรับความเข้มข้นจ่ายเข้าต่ำ ๆ ถ้าความเข้มข้นจ่ายเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น และที่เพียงความดัน 1.0 บาร์ ไฮโดรไซโคลนก็สามารถแยกมวลที่ออกทางด้านล่างได้มากกว่าด้านบน ดังรูปที่ 4.25 ดังนั้นในกรณีนี้ ความดันจ่ายเข้าต่ำหรือสูง ก็ให้ผลต่อการแยกอนุภาคได้ใกล้เคียงกัน (การลดความดันจ่ายเข้า ช่วยประหยัดพลังงานในการเดินระบบ)

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเป็นปัจจัยหนึ่งในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน ซึ่งในงานวิจัยนี้ พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำระดับหนึ่ง การนำไฮโดร

ไฮโดรไลต์ที่ติดตั้งกริตพอทมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน จะช่วยลดมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ก่อนเข้าสู่ระบบได้เล็กน้อย

4.4. ผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอย

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไลต์ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความดันจ่ายเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไลต์ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง และเวลาที่ใช้ในกริตพอท ซึ่งผลของการทดลองที่ได้ในส่วนห้องกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล มีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงจะขอก้าวถึงภาพรวมของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไลต์ที่เกิดขึ้นทั้งห้องกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแลไปพร้อม ๆ กัน

4.4.1. ความดันจ่ายเข้า

จากผลการทดลองที่ได้จากไฮโดรไลต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร โดยทดลองแปรเปลี่ยนความดัน 4 ค่า คือ 0.5 บาร์ 1.0 บาร์ 1.5 บาร์ และ 2.0 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.14 ซึ่งการดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองด้วยไฮโดรไลต์แบบธรรมดาและไฮโดรไลต์ที่ติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่าง พบว่า การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไลต์ทำให้อัตราการไหลเข้าและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไลต์มีค่าเพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้สารแขวนลอยในไฮโดรไลต์มีโอกาสแยกออกจากกันได้มากขึ้น โดยที่สารแขวนลอยจะไหลออกทางด้านล่างและน้ำใสจะไหลออกทางด้านบน ดังนั้นการเพิ่มความดันจ่ายเข้าจาก 0.5 ถึง 2.0 บาร์ ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยและความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างและมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างสำหรับไฮโดรไลต์แบบธรรมดาและความเข้มข้นสารแขวนลอยและมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าเพิ่มขึ้น

การควบคุมค่าความดันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อใช้ปรับอัตราการไหล โดยมีการวัดค่าความดันด้วยการติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ท่อทางเข้า ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความดันจ่ายเข้าจะทำให้อัตราการไหลเข้าไฮโดรไลต์มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงมีค่าสูงขึ้นดังอธิบายได้จากสมการที่ 2.4 ($V_y = \alpha \frac{Q}{A_i}$) ซึ่งส่งผลให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ภายในไฮโดรไซโคลนหรือค่าความเร่งหนีศูนย์กลาง (ζ) มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังอธิบายได้จากสมการ

$$2.44 \left(\zeta = \frac{v_y^2}{R \cdot g} \right) \text{ อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับกฎของสโตก (Stokes' law) (Metcalf & Eddy, 2003)}$$

$$v_p = \frac{\Delta p \cdot d^2 \cdot \zeta}{18 \cdot \mu \cdot p} \quad (2.45)$$

จะเห็นได้ว่า ความเร็วในการตกตะกอนของสารแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเร่งหนีศูนย์กลาง (ζ) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อตัวแปรอื่น ๆ ในสมการคงที่ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพในการแยกในไฮโดรไซโคลนจะขึ้นอยู่กับความเร็วของของผสมที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน

จากสมการของ Trawinski, 1969 (อ้างถึงใน Puprasert, 2004) แสดงถึงความสัมพันธ์สัดส่วนความเร่งหนีศูนย์กลางกับความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกับความดันลดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\zeta}{g} = \frac{4 \Delta P}{D_{HC}} \quad (4.1)$$

กล่าวคือ เมื่อความดันลดมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้สัดส่วนความเร่งหนีศูนย์กลางกับความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ดังนั้น เมื่ออัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนคงที่ จะทำให้ความเร็วและประสิทธิภาพในการแยกในไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น (Bradley, 1965) รวมไปถึงความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่าง มวล (ในรูปของภาวะบรรจุ) ที่แยกออกทางด้านล่าง (ไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา) และมวล (ในรูปของภาวะบรรจุ) ที่สะสมอยู่ในกริตพอท (ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.4.2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน

จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ความดันเดียวกัน ด้วยไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา พบว่า เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนให้เล็กลงจาก 75 มิลลิเมตร เป็น 50 มิลลิเมตร ความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีค่าสูงกว่าไฮโดรไซโคลนไฮโดรไซโคลนขนาด 75 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนลง ที่ความดันเดียวกัน ความเร็วในแนวสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ออนุภาคส่วนใหญ่สามารถไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลน จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ มีความสอดคล้องกับทฤษฎีของ Helmholtz's law (Puprasert, 2004)

$$V_y \cdot R = \text{ค่าคงที่} \quad (2.5)$$

และ

$$Vr^n = \text{ค่าคงที่} \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลดลง ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงจะเพิ่มขึ้นสำหรับการหมุนวนภายนอก (Outer Vortex) ในทางกลับกัน จากสมการที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า การหมุนวนภายใน (Inner Vortex) ในทิศทางขึ้นใกล้แกนกลางของไฮโดรไซโคลนนั่น เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงก็จะเพิ่มขึ้น

กล่าวคือ เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนลง ทำให้ความเร็วลิฟท์ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงเหวี่ยงภายในไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ซึ่งแรงเหวี่ยง (ในที่นี้คือ

$\zeta = \frac{v_y^2}{R \cdot g}$ ในกฎของสโตก) จะทำให้สารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนถูกเหวี่ยงปะทะกับผนังของไฮโดรไซโคลนทำให้ออนุภาคขนาดใหญ่ไหลออกทางด้านล่างได้มากขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

จากสมการที่ 4.1 ของ Trawinski, 1969 (อ้างถึงใน Puprasert, 2004) แสดงถึงความสัมพันธ์สัดส่วนความเร่งหนีศูนย์กลางกับความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกับความดันลดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง กล่าวคือ เมื่อไฮโดรไซโคลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก จะส่งผลให้สัดส่วนความเร่งหนีศูนย์กลางกับความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าสูงขึ้น และเนื่องจาก

ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนจะแปรผันตามความเร่งหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลอน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้ ได้ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนจาก 75 มิลลิเมตร เป็น 50 มิลลิเมตร พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Helmholtz's law และสมการของ Trawinski, 1969

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในแง่ของขนาดอนุภาค จากงานวิจัยของธีระชัย, 2546 พบว่า การใช้ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะทำให้ค่าความดันลดมีค่าลดลงส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถแยกออกทางด้านล่างได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 ที่กล่าวว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอนในแง่ของขนาดอนุภาค เนื่องจากถ้าไฮโดรไซโคลอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง ขนาดตัด (x_{50}) ของอนุภาคจะมีขนาดเล็กตามไปด้วย

4.4.3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน

การหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน จะทดลองกับไฮโดรไซโคลอนแบบธรรมดาเท่านั้น

จากการทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอนจาก 12 มิลลิเมตร เป็น 10 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร สำหรับไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร เป็น 9 มิลลิเมตร 6 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร สำหรับไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร พบว่า ในส่วนของการหาประสิทธิภาพการแยกสารแขวนลอย การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างนั้น ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยไม่แตกต่างกันมากนัก ในส่วนของการหาความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง ทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในทางกลับกันอัตราการไหลและมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเป็นเพียงการปรับ

อัตราการไหลออกที่ช่องทางออกด้านล่าง ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีของ Svarovsky, 1984 ซึ่งกล่าวไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน คือ การปรับอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอนและมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ พบว่า การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง ทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้นและมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่แยกได้มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างไม่มีผลที่ชัดเจนต่องานวิจัยนี้

4.4.4. ผลของเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท

การหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในส่วนของผลของเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท จะทดลองกับไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอทเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้ได้แปรเปลี่ยนเวลาในการเก็บกักตะกอนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ชั่วโมง และจากผลการทดลอง พบว่า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลอนเข้าสู่กริตพอทด้วยกระแสนวนภายนอกและเกิดการสะสมตัวอยู่ภายในกริตพอท โดยที่น้ำใสกับอนุภาคขนาดเล็กบางส่วนที่อยู่ใกล้กับบริเวณเส้นทางการไหลย้อนออกทางด้านบนนั้น จะไหลย้อนออกไปด้วยกระแสนวนภายใน ซึ่งในงานวิจัยนี้ พบว่า ตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีปริมาณน้อย ซึ่งผู้ทำวิจัยได้สังเกตเห็นว่า ในกริตพอทมีปริมาณน้ำใสและมีพื้นที่เหลือสำหรับการเก็บกักตะกอนค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 4.16 ดังนั้นผู้ทำวิจัยคาดว่า สารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีโอกาสไหลย้อนออกทางด้านบนเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทในงานวิจัยนี้ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลอนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากตะกอนที่สะสมในงานวิจัยนี้มีไม่เต็มกริตพอท และในส่วนของความเข้มข้นสารแขวนลอยในกริตพอท พบว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเก็บสะสมตะกอนในกริตพอทนั้น ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของความเข้มข้น พบว่า มีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Puprasert, 2004 ซึ่งกล่าวไว้ว่า กริตพอทจะติดอยู่ที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน ทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอนขนาดเล็ก และความเข้มข้นสารแขวนลอยในกริตพอทจะแปรตามเวลาที่ใช้ในการสะสมตะกอนใน กริตพอท และเมื่อตะกอนสะสมตัวในกริตพอทมากเกินไปจนเกินกว่า

ที่กริตพอทจะรับได้ ตะกอนที่อยู่ภายในกริตพอท จะไหลย้อนออกไปยังทางออกด้านบน ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยลดลง

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไม่สามารถสรุปผลของเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำดิบจริง ที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยต่ำ ทำให้ตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีความเข้มข้นน้อยและไม่เต็มกริตพอท ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่า การเพิ่มเวลาในการสะสมตะกอนในกริตพอท ทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยและมวล (ในรูปของภาระบรรทุก) ที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

4.5. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

4.5.1. ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สามารถแยกออกมาได้ ในหัวข้อนี้ได้ทำการจำลองการติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาจริง เพื่อคำนวณว่า เมื่อนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาจะช่วยลดปริมาณสารแขวนลอยได้มากน้อยเพียงใด โดยการจำลองนี้ได้ใช้ข้อมูลของโรงกรองน้ำสามเสน 2 มาคำนวณกับผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทราบถึงความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สามารถแยกออกมาได้ ดังนั้นการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงสามารถหาได้จาก การนำอัตราการไหลเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำสามเสน 2 คูณกับอัตราการแบ่งการไหล (Flow Split) (แสดงในตารางที่ 4.2 ถึง 4.4) เพื่อให้ได้อัตราการไหลจริงจากทางออกด้านบนและอัตราการไหลจริงจากทางออกด้านล่าง หลังจากนั้นนำอัตราการไหลจริงที่ได้ในแต่ละเส้นทางคูณกับปริมาณสารแขวนลอยที่ได้จากการทดลองเพื่อหาปริมาณสลัดจ์ที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาและปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.2 อัตราการแบ่งการไหล และความเข้มข้นสารแขวนลอยทั้ง 3 เส้นทาง ของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันจ่ายเข้าต่าง ๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดัน	อัตราการแบ่งการไหล (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้า (มก./ล)		ความเข้มข้นสารแขวนลอยด้านบน (มก./ล)		ความเข้มข้นสารแขวนลอยด้านล่าง (มก./ล)	
		สามเสน	ลำแล	สามเสน	ลำแล	สามเสน	ลำแล
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร							
HC 75, 0.5 บาร์	0.24	36	34	22	28	44	46
HC 75, 1.0 บาร์	0.29			23	28	51	49
HC 75, 1.5 บาร์	0.26			23	29	62	45
HC 75, 2.0 บาร์	0.25			24	27	63	60
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร							
HC 75, 0.5 บาร์	0.20	30	33	22	28	38	43
HC 75, 1.0 บาร์	0.19			21	28	44	49
HC 75, 1.5 บาร์	0.18			21	27	55	54
HC 75, 2.0 บาร์	0.20			22	27	58	63
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร							
HC 75, 0.5 บาร์	0.14	33	25	27	24	37	48
HC 75, 1.0 บาร์	0.12			28	25	42	60
HC 75, 1.5 บาร์	0.16			27	28	53	60
HC 75, 2.0 บาร์	0.18			24	29	84	63
ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท							
HC 75, 0.5 บาร์	0.20	26	45	23	27	365	4517
HC 75, 1.0 บาร์	0.19	26	65	22	35	588	31320
HC 75, 1.5 บาร์	0.18	25	63	21	39	933	14946
HC 75, 2.0 บาร์	0.20	27	83	24	56	1071	23600

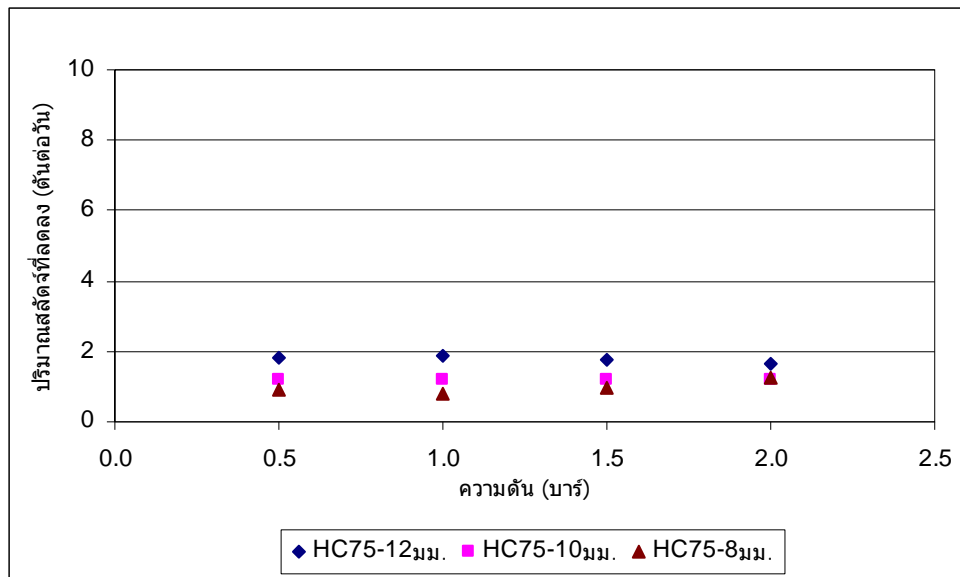
ตารางที่ 4.3 อัตราการแบ่งการไหล และความเข้มข้นสารแขวนลอยทั้ง 3 เส้นทาง ของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันจ่ายเข้าต่าง ๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดัน	อัตราการแบ่งการไหล (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้า (มก./ล)		ความเข้มข้นสารแขวนลอยด้านล่าง (มก./ล)		ความเข้มข้นสารแขวนลอยด้านบน (มก./ล)	
		สามเสน	ลำไถ	สามเสน	ลำไถ	สามเสน	ลำไถ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร							
HC 50, 0.5 บาร์	0.26	26	43	22	34	28	50
HC 50, 1.0 บาร์	0.26			25	34	30	75
HC 50, 1.5 บาร์	0.22			24	32	33	83
HC 50, 2.0 บาร์	0.22			22	38	31	95
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร							
HC 50, 0.5 บาร์	0.19	24	41	22	34	26	121
HC 50, 1.0 บาร์	0.15			21	36	28	161
HC 50, 1.5 บาร์	0.16			24	35	31	192
HC 50, 2.0 บาร์	0.16			23	34	35	198
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร							
HC 50, 0.5 บาร์	0.17	31	36	25	35	38	243
HC 50, 1.0 บาร์	0.16			28	32	43	316
HC 50, 1.5 บาร์	0.12			26	33	51	447
HC 50, 2.0 บาร์	0.08			26	31	59	483
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร							
HC 50, 0.5 บาร์	0.11	30	35	28	33	32	454
HC 50, 1.0 บาร์	0.09			28	36	42	599
HC 50, 1.5 บาร์	0.13			28	28	50	791
HC 50, 2.0 บาร์	0.07			26	28	54	843
ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท							
HC 50, 0.5 บาร์	0.26	35	85	23	68	330	11836
HC 50, 1.0 บาร์	0.26	36	83	23	52	661	7694
HC 50, 1.5 บาร์	0.22	34	68	23	46	735	12635
HC 50, 2.0 บาร์	0.22	35	90	22	60	1067	28870

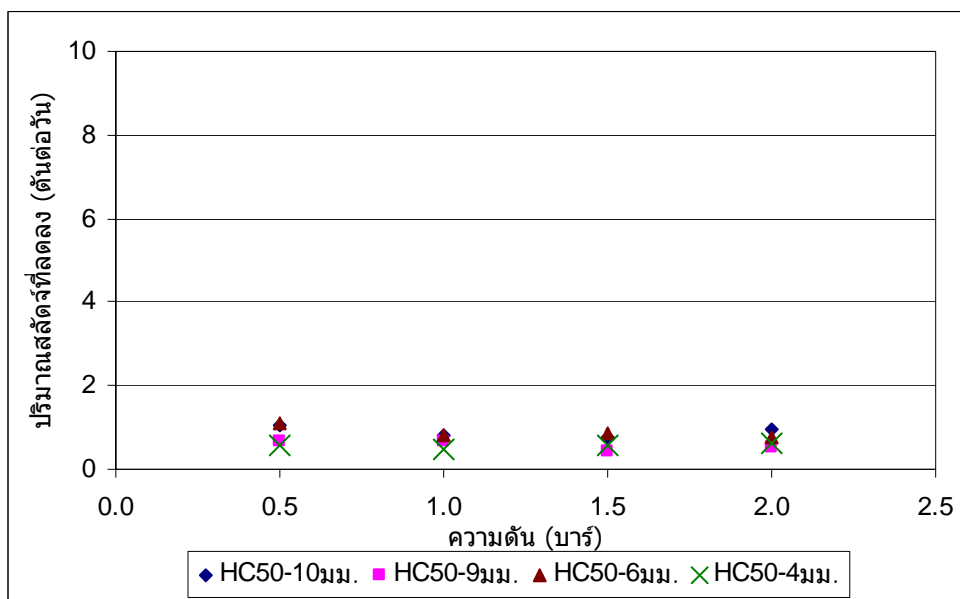
ตารางที่ 4.4 อัตราการไหลเข้าของโรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล ที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง

ปี	2549		2550					
เดือน	พ.ย.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม/วัน)	93,620	109,267	107,376	108,518	91,312	92,510	93,292	93,987

จากการคำนวณที่ได้จากผลการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 93,620 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค.1.1 ถึง 1.6) มีปริมาณสลัดจ์ที่ไหลออกทางด้านบนมีค่า 1.52 – 2.32 ตันต่อวัน และปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่า 0.50 – 1.51 ตันต่อวัน คิดเป็นปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง 0.77 – 1.85 ตันต่อวัน ส่วนไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 - 10 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 107,376 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค.1.7 ถึง 1.14) มีปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านบนมีค่า 1.75 – 2.73 ตันต่อวัน และปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่า 0.39 – 0.83 ตันต่อวัน คิดเป็นปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง 0.43 – 1.11 ตันต่อวัน

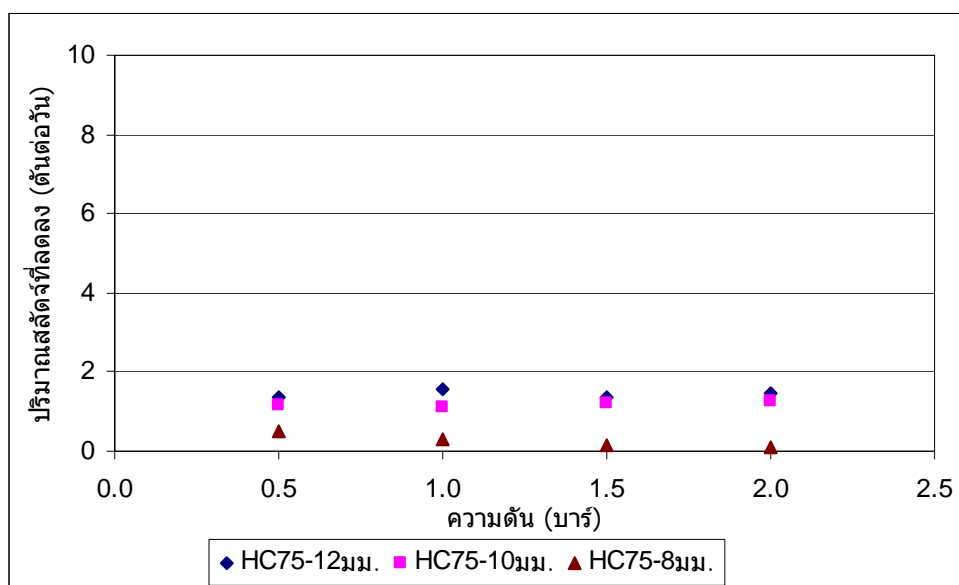


รูปที่ 4.27 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 (ค่าที่ได้จากการคำนวณ)

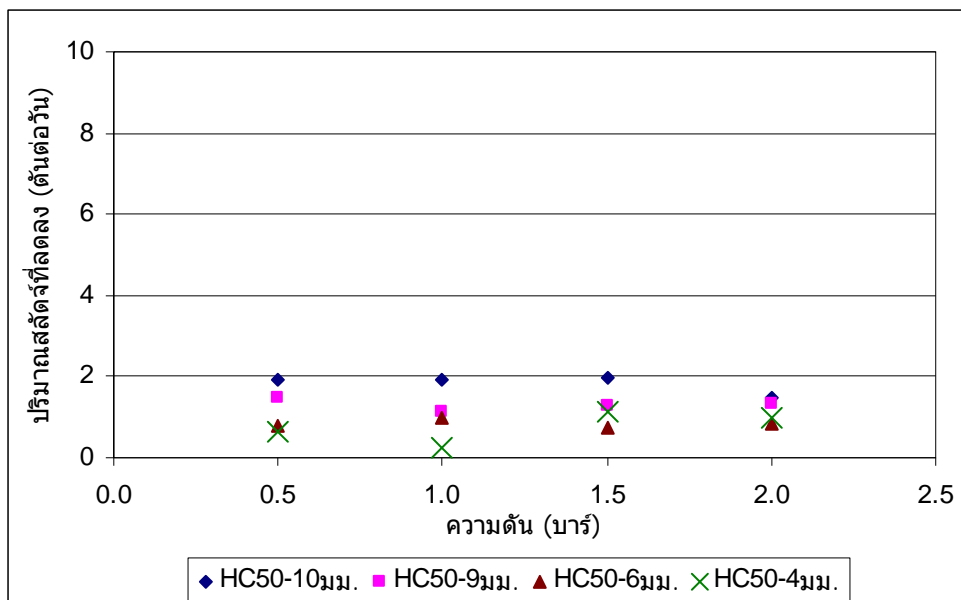


รูปที่ 4.28 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 (ค่าที่ได้จากการคำนวณ)

จากการคำนวณที่ได้จากผลการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 – 12 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 108,518 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.29 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 3.1 ถึง 3.6) มีปริมาณสลัดจ์ที่ไหลออกทางด้านบนมีค่า 2.15 – 2.59 ตันต่อวัน และปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่า 0.97 – 1.60 ตันต่อวัน คิดเป็นปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง 0.12 – 1.54 ตันต่อวัน และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 - 10 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 108,518 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 3.7 ถึง 3.14) มีปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านบนมีค่า 2.66 – 3.55 ตันต่อวัน และปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่า 1.41 – 10.83 ตันต่อวัน คิดเป็นปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง 0.25 – 1.95 ตันต่อวัน



รูปที่ 4.29 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล



รูปที่ 4.30 ปริมาณสัลดัจที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

จากรูปที่ 4.27 – 4.29 พบว่า การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนและการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ทำให้ปริมาณสัลดัจที่ลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนและการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3.

ในขณะเดียวกัน จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า ปริมาณสัลดัจที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล มีปริมาณสัลดัจที่แยกออกทางด้านล่างมากกว่าผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนตัวอื่น เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้น้ำดิบจริงที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยค่อนข้างต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ให้ปริมาณสัลดัจที่แยกออกทางด้านล่างและปริมาณสัลดัจที่แยกออกทางด้านบนชัดเจนกว่า เมื่อเทียบกับผลการทดลองตัวอื่น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเดียวกัน การใช้ไฮโดร

ไฮโดรไลซิสขนาดเล็กจะให้ปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่ามากกว่าการทดลองด้วยการใช้ไฮโดรไลซิสขนาดใหญ่

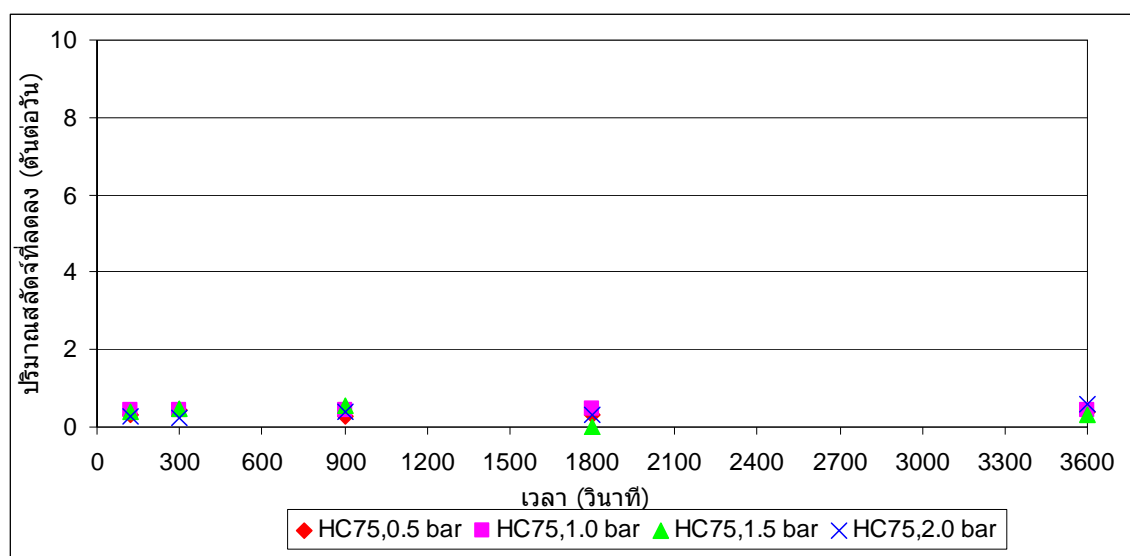
จากการคำนวณหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงด้วยไฮโดรไลซิสแบบธรรมดา พบว่า ปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านบน (ปริมาณสลัดจ์ที่เหลือจากการผ่านไฮโดรไลซิสเพื่อเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา) มีมากกว่าปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่าง (ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง) แต่จากการคำนวณที่ได้จากไฮโดรไลซิสขนาดเล็กผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ได้ผลการคำนวณที่แตกต่างออกไป คือ ปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านบนมีน้อยกว่าปริมาณสลัดจ์ที่ออกทางด้านล่าง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาควรนำไฮโดรไลซิสขนาดเล็กมาใช้ เนื่องจาก ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยด้วยไฮโดรไลซิสขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยมากกว่าการใช้ไฮโดรไลซิสขนาดใหญ่ และจะเห็นอีกว่าความเข้มข้น ขนาดอนุภาคและความหนาแน่นของสารแขวนลอยเป็นอีกปัจจัยในการคำนึงถึงการนำไฮโดรไลซิสมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบ ดังสมการกฎ Stokes ที่ 2.45 และจากการคำนวณพบว่า แม้จะมีการทดลองด้วยไฮโดรไลซิสขนาดเล็กผ่านศูนย์กลางเดียวกัน คือ ไฮโดรไลซิสขนาดเล็กผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล และโรงกรองน้ำสามเสน 2 แต่ผลการคำนวณที่ได้มีค่าออกมาไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยที่เข้าสู่ไฮโดรไลซิสที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลมีมากกว่าที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ประมาณ 2 เท่า ดังนั้น การติดตั้งไฮโดรไลซิสแบบธรรมดาก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปานั้นควรมีความเข้มข้นสารแขวนลอยที่มากในระดับหนึ่ง แต่ถ้าเปรียบเทียบการคำนวณหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา กับ Puprasert , 2004 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่จ่ายเข้าไฮโดรไลซิสในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยของ Puprasert , 2004 ประมาณ 52 - 115 เท่า ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การใช้ไฮโดรไลซิสขนาดเล็กสามารถแยกสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยที่มีค่าค่อนข้างต่ำได้ในระดับหนึ่ง

4.5.2. สลัดจ์ที่ลดลงได้จากไฮโดรไลซิสที่ติดตั้งกริตพอท

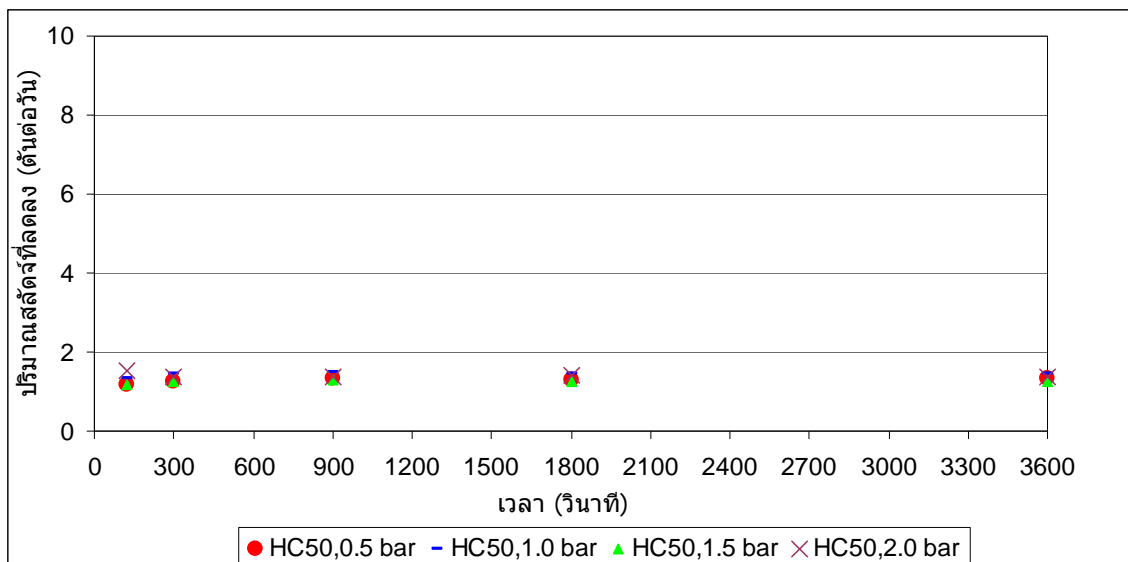
ในการคำนวณหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไลซิสที่ติดตั้งกริตพอท จะทำการคำนวณคล้ายกันกับการหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไลซิสที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท แต่ที่ต่างกัน คือ ในการทดลองด้วยไฮโดรไลซิสที่ติดตั้งกริตพอทจะดำเนินการทดลองแบบแบชต์ กล่าวคือ หลังจากไฮโดรไลซิสที่ติดตั้งกริตพอททำงานครบช่วงเวลาที่ต้องการให้ตะกอนสะสมตัวอยู่ภายในนั้น การเก็บตะกอนในกริตพอทนั้นจะต้องดำเนินการปิดระบบจ่ายน้ำเข้าสู่ไฮโดรไลซิสก่อน แล้วจึงเก็บ

ตะกอนที่สะสมอยู่ภายในกริตพอท หลังจากนั้นจึงดำเนินการจ่ายน้ำเข้าสู่กริตพอทใหม่อีกครั้งแล้วจึงเริ่มจับเวลาเมื่อการเก็บตะกอนในกริตพอทครั้งต่อไป ดังนั้นการหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงสามารถหาได้โดย ปริมาณสลัดจ์ที่จ่ายเข้าลบกับปริมาณสลัดจ์ที่เหลือจากการผ่านไฮโดรไซโคลนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

จากการคำนวณที่ได้จากผลการทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ด้วยไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 109,267 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.31 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 2.1 ถึง 2.8) และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 107,376 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.32 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 2.9 ถึง 2.16) พบว่า ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22 – 0.60 ตันต่อวัน และ 1.18 – 1.52 ตันต่อวัน ตามลำดับ

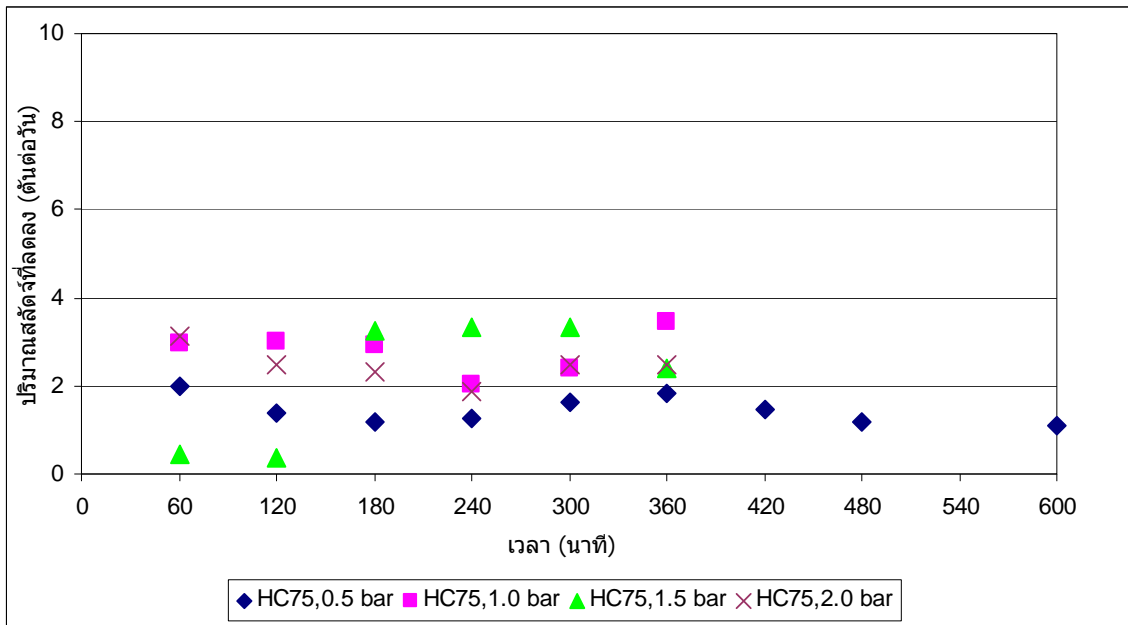


รูปที่ 4.31 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

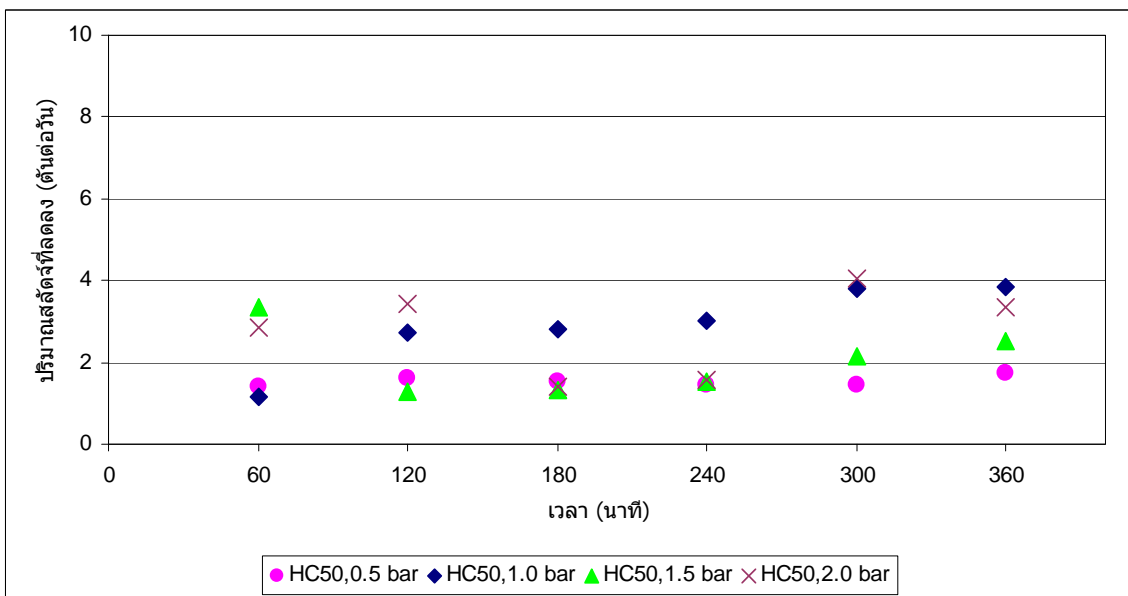


รูปที่ 4.32 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2

จากการคำนวณที่ได้จากผลการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ด้วยไฮโดรไซโคลน ที่ติดตั้งกริตพอท ที่ความดัน 0.5 – 2.0 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 92,510 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.33 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 4.1 ถึง 4.8) และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 92,510 ลบ.ม.ต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ค. 4.9 ถึง 4.16) พบว่า ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.37 – 3.46 ตันต่อวัน และ 1.17 – 3.83 ตันต่อวัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 ปริมาณสลดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล



รูปที่ 4.34 ปริมาณสลดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

จากรูปที่ 4.31 – 4.34 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนและเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท ไม่มีผลต่อปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงจากไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า การนำไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทเข้ามาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาสถานีสูบน้ำดิบสำแลจะมีปริมาณสลัดจ์ลดลงมากกว่าที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 เนื่องจากที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลมีความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบจริงมากกว่า ดังนั้นการนำไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบประปานั้น จึงมีประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยมากกว่า

จากผลการคำนวณในส่วนนี้ พบว่า การใช้ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาใช้แยกสารแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปานั้น สามารถช่วยลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาได้ โดยตะกอนสารแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอทนั้น สามารถรวบรวมและนำไปกำจัดได้ง่าย ในขณะที่น้ำใสและสารแขวนลอยบางส่วนจะไหลออกจากทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าน้ำใสและตะกอนสารแขวนลอยที่ไหลเข้าสู่ระบบประปานั้นมีค่าลดลง ทำให้ปริมาณในการเติมสารเคมีในขั้นตอนการผลิตน้ำประปามีปริมาณน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงอีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ที่ได้จากการผลิตน้ำประปาอีกด้วย

จากการสอบถามข้อมูลจากบริษัท General Environmental Conservation Public Co., LTD จะเห็นได้ว่าค่ากำจัดสลัดจ์ที่ได้จากการผลิตน้ำประปานั้น คิดเป็นจำนวนเงิน 3,000 บาทต่อตัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้ พบว่า เมื่อนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาสามารถลดปริมาณสลัดจ์ได้จำนวนหนึ่ง ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ค่าที่ได้จากการคำนวณ (โรงกรองน้ำสามเสน 2)	ไฮโดรไซโคลนแบบ ธรรมดา		ไฮโดรไซโคลนที่ ติดตั้งกริตพอท	
	HC 75	HC 50	HC 75	HC 50
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตันต่อวัน)				
ต่ำสุด*	0.77	0.43	0.22	1.18
สูงสุด*	1.85	1.11	0.60	1.52
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)				
ต่ำสุด*	25	17	10	31
สูงสุด*	55	33	20	40
ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาทต่อวัน)				
ต่ำสุด*	2,316	1,284	655	3,549
สูงสุด*	5,545	3,344	1,802	4,563

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ค่าที่ได้จากการคำนวณ (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)	ไฮโดรไซโคลนแบบ ธรรมดา		ไฮโดรไซโคลนที่ ติดตั้งกริตพอท	
	HC 75	HC 50	HC 75	HC 50
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตันต่อวัน)				
ต่ำสุด*	0.12	0.25	0.37	1.17
สูงสุด*	1.54	1.95	3.46	3.83
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)				
ต่ำสุด*	4	7	6	15
สูงสุด*	40	42	58	50
ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาทต่อวัน)				
ต่ำสุด*	348	746	1,116	3,517
สูงสุด*	4,629	5,848	10,370	12,096

* ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ควบคุมการทำงาน เช่น ความดันจ่ายเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ลดลง ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล จากการใช้ไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการใช้ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา พบว่า เมื่อนำไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล จะมีค่าใช้จ่ายลดลงมากกว่าที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลมีมากกว่าประมาณ 2 เท่า

ดังนั้นจากผลการคำนวณดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ประมาณ 1,284 – 5,545 บาท (ลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ 55 เปอร์เซ็นต์) และ ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ประมาณ 655 – 4,563 บาท (ลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ 40 เปอร์เซ็นต์) สำหรับสถานีสูบน้ำดิบสำแล ไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ประมาณ 348 – 5,848 บาท (ลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ 42 เปอร์เซ็นต์) และ ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้ประมาณ 1,116 – 12,096 บาท (ลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาได้สูงถึง 58 เปอร์เซ็นต์)

4.6. ขนาดอนุภาค

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำดิบจริง 2 แห่ง คือ สถานีสูบน้ำดิบสำแล บริเวณปากทางน้ำที่ผ่านสถานีสูบน้ำดิบก่อนส่งผ่านไปยังคลองประปา และแห่งที่สอง คือ โรงกรองน้ำสามเสน 2 บริเวณบ่อพักน้ำที่สูบน้ำเข้ามาจากคลองประปาหน้าโรงงานกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า น้ำดิบมีความเข้มข้นต่ำและขนาดอนุภาคต่าง ๆ กันที่เข้าไฮโดรไซโคลนระหว่าง 3.7 – 14.2 ไมครอน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้คือช่วงเดือนตุลาคม 2549 ถึง เดือนสิงหาคม 2550

4.6.1 ขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)	ทางออกด้านบน (ไมครอน)	ทางออก ด้านล่าง (ไมครอน)
8	0.5	9.5	10.6	12.7
	1.0	8.9	10.1	22.0
	1.5	10.9	9.6	28.2
	2.0	13.7	8.6	33.0
10	0.5	10.0	9.6	10.8
	1.0	10.2	9.3	11.9
	1.5	11.5	10.2	18.4
	2.0	12.7	10.3	19.8
12	0.5	8.8	9.6	12.3
	1.0	10.2	9.8	13.0
	1.5	10.2	9.8	16.2
	2.0	11.7	10.4	42.7

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)	ทางออก ด้านบน (ไมครอน)	ทางออก ด้านล่าง (ไมครอน)
4	0.5	11.9	18.3	23.1
	1.0		11.7	29.7
	1.5		11.6	19.5
	2.0		14.5	19.9
6	0.5	7.6	7.3	18.9
	1.0		9.1	25.0
	1.5		7.3	14.6
	2.0		6.9	20.3
9	0.5	8.9	7.0	12.2
	1.0		7.2	17.2
	1.5		7.2	19.1
	2.0		7.3	18.6
10	0.5	8.2	7.5	11.8
	1.0		7.1	12.4
	1.5		6.8	14.4
	2.0		7.6	13.1

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)	ทางออก ด้านบน (ไมครอน)	ทางออก ด้านล่าง (ไมครอน)
8	0.5	9.0	7.4	19.0
	1.0		8.1	19.8
	1.5		8.6	21.1
	2.0		8.2	22.7
10	0.5	9.5	8.2	17.1
	1.0		7.1	16.8
	1.5		7.6	17.1
	2.0		7.7	18.5
12	0.5	9.6	7.6	13.7
	1.0		7.3	15.6
	1.5		7.9	17.9
	2.0		7.9	20.0

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (X_{50}) ใน 3 เส้นทางการไหลของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)	ทางออก ด้านบน (ไมครอน)	ทางออก ด้านล่าง (ไมครอน)
4	0.5	10.3	9.3	38.5
	1.0		9.5	36.9
	1.5		9.0	34.4
	2.0		9.4	33.6
6	0.5	10.1	9.6	31.9
	1.0		9.1	32.3
	1.5		8.4	31.2
	2.0		8.3	31.1
9	0.5	10.3	9.1	24.1
	1.0		8.5	27.0
	1.5		8.0	26.7
	2.0		8.4	26.0
10	0.5	9.9	8.9	14.7
	1.0		9.1	16.0
	1.5		8.3	16.7
	2.0		9.2	18.7

4.6.2 ขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เวลาที่ใช้ในกริตพอท (วินาที)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)		ทางออกด้านบน (ไมครอน)		เวลาที่ใช้ในกริตพอท (วินาที)	กริตพอท (ไมครอน)	
		X ₅₀	SD	X ₅₀	SD		X ₅₀	SD
(70 – 3000)	0.5	5.1	-	4.1	0.2	(120 – 3600)	49.3	10.3
	1.0	4.7	-	4.4	0.2		29.8	6.7
	1.5	4.2	-	4.1	0.3		29.2	9.9
	2.0	5.6	-	5.2	0.2		33.6	5.1

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เวลาที่ใช้ในกริตพอท (วินาที)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)		ทางออกด้านบน (ไมครอน)		เวลาที่ใช้ในกริตพอท (วินาที)	กริตพอท (ไมครอน)	
		X ₅₀	SD	X ₅₀	SD		X ₅₀	SD
(70 – 3000)	0.5	7.8	-	6.0	0.6	(120 – 3600)	23.0	9.3
	1.0	6.8	-	5.4	0.6		23.5	7.1
	1.5	5.2	-	4.7	0.5		22.0	3.2
	2.0	5.4	-	4.9	0.6		22.3	9.1

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เวลาที่ใช้ในกริตพอท (นาที)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)		ทางออกด้านบน (ไมครอน)		เวลาที่ใช้ในกริตพอท (นาที)	กริตพอท (ไมครอน)	
		X ₅₀	SD	X ₅₀	SD		X ₅₀	SD
(15 - 585)	0.5	8.4	1.7	7.5	1.4	(60 - 600)	49.0	3.6
	1.0	10.4	3.7	8.7	3.7		37.1	2.5
	1.5	12.2	2.6	10.7	3.1		32.7	2.1
	2.0	9.7	1.5	7.8	1.1		29.5	2.3

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เวลาที่ใช้ในกริตพอท (นาที)	ความดัน (บาร์)	จ่ายเข้า (ไมครอน)		ทางออกด้านบน (ไมครอน)		เวลาที่ใช้ในกริตพอท (นาที)	กริตพอท (ไมครอน)	
		X ₅₀	SD	X ₅₀	SD		X ₅₀	SD
(30 - 330)	0.5	12.0	1.2	9.8	1.0	(60 - 360)	28.8	4.1
	1.0	9.5	1.3	7.3	1.6		28.5	2.2
	1.5	10.6	3.6	10.5	3.9		31.1	3.4
	2.0	8.3	2.8	7.9	2.7		29.5	2.1

4.6.3. เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาดที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และ สถานีสูบน้ำดิบสำแล

น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำดิบจริงจากบ่อกักน้ำดิบก่อนเข้าสู่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล ดังนั้นขนาดอนุภาคที่เข้าไฮโดรไซโคลนจึงมีขนาดแตกต่างกันในแต่ละการทดลองและจากผลการทดลองที่ได้จากไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ถึง 4.10 และไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ถึง 4.14 จะเห็นได้ว่า ในทุกกรณีขนาดอนุภาคที่แยกออกได้ที่ทางออกด้านล่าง มีขนาดใหญ่กว่าที่จ่ายเข้าเสมอ ในทางกลับกันขนาดอนุภาคที่ไหลออกทางด้านบนพร้อมน้ำใส มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าเสมอเช่นกัน สอดคล้องกับทฤษฎีการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และจากการข้อมูลที่ได้จากการประปานครหลวง พบว่า สถานีสูบน้ำดิบสำแลเป็นจุดเริ่มต้นของการรับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา เข้าสู่คลองประปาตะวันออกและมีระยะทางระหว่างสถานีสูบน้ำดิบสำแลกับโรงกรองน้ำสามเสน 2 ประมาณ 34 กิโลเมตร ซึ่งจากการทดลอง เห็นได้ว่าขนาดอนุภาคที่เข้าสู่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีขนาดเล็กกว่าที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ที่ผ่านสถานีสูบน้ำดิบสำแลจะตกตะกอนระหว่างทางก่อนเข้าสู่โรงกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งเป็นเหตุให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (x_{50}) ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 มีขนาดเล็กกว่า

4.6.4. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนกับขนาดอนุภาค

จากการทดลองหาขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน พบว่า อนุภาคสารแขวนลอยเฉลี่ยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าประมาณ 8 ไมครอน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอนุภาคของสารแขวนลอยนั้นเป็นอนุภาคขนาดเล็ก

การทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองด้วยน้ำดิบจริงและจากผลการทดลองหาขนาดอนุภาค พบว่า สารแขวนลอยมีอนุภาคขนาดเล็ก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำเนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยที่ได้มีขนาดเล็ก และจากผลการทดลองที่ได้นั้น มีความสอดคล้องกับทฤษฎีของสโตก (สมการที่ 2.45) กล่าวคือ ขนาดอนุภาค (d_p) และความหนาแน่นสารแขวนลอย ($\Delta\rho$) เป็นอีกตัวแปรที่ส่งผลต่อความเร็วในการตกตะกอน คือ เมื่ออนุภาคสารแขวนลอยมีขนาดเล็ก จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าขนาดอนุภาค (d_p) จะอยู่ในรูปของกำลังสอง (d_p^2) โดยที่ d_p^2 จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการ

แยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมากกว่าความหนาแน่นสารแขวนลอย ($\Delta\rho$) ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ อาจกล่าวได้ว่าไฮโดรไซโคลนไม่เหมาะสมสำหรับแยกสารแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1

4.6.5. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

จากการทดลองเปรียบเทียบด้วยไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.5 ถึง 2.0 บาร์ พบว่า

1. จากการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร พบว่า ขนาดอนุภาคจะแปรผันตามความดัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน ขนาดอนุภาคที่ไหลออกทางด้านล่างจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่ขนาดอนุภาคที่ไหลออกทางด้านบนจะมีขนาดใกล้เคียงกันอย่างไม่มีความสำคัญ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน ไม่เพียงแต่ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1. แต่ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในแง่ของขนาดจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน
2. จากการเปรียบเทียบหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จาก ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กับไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร พบว่า ขนาดอนุภาคที่แยกทางด้านล่างมีขนาดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีความสำคัญ เนื่องจาก ขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีขนาดค่อนข้างเล็ก ดังนั้นการใช้ไฮโดรไซโคลนทั้งสองขนาด จึงไม่มีผลต่อการแยกขนาดอนุภาคในไฮโดรไซโคลนอย่างมีความสำคัญ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.3.3.
3. จากการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแลด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนลดลง ขนาดอนุภาคที่ได้จากทางด้านล่างจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.3.2.

4.6.6. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอท

งานวิจัยในส่วนนี้ได้ใช้ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท มาทดลองที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทของ คือ 60 – 3600 วินาที และ 1 – 10 ชั่วโมง ตามลำดับ ในส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงความดันจ่ายเข้าจาก 0.5 – 2.0 บาร์ โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางด้านล่าง 10 มิลลิเมตร พบว่า

1. จากการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตรที่ติดตั้งกริตพอท ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า ความดันไม่มีผลต่อการแยกปริมาณสารแขวนลอยในแง่ของขนาดอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เข้าไฮโดรไซโคลอนมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันจ่ายเข้า ขนาดอนุภาคที่ออกทางด้านล่างจึงเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1.
2. ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร มีขนาดอนุภาคที่ทางออกด้านล่างใหญ่กว่าขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2.
3. จากการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอทด้วยไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนในแง่ของขนาดอนุภาคเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยที่เข้าไฮโดรไซโคลอนมีปริมาณน้อย ทำให้ไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริตพอททำหน้าที่เพียงรวบรวมตะกอนเท่านั้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.4.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทและความเป็นไปได้ในการนำไฮโดรไซโคลนและไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาใช้เป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งในงานวิจัยนี้ทดลองที่ความดัน 0.5 ถึง 2.0 บาร์ ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 ถึง 12 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 ถึง 10 มิลลิเมตร สำหรับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา และสำหรับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทจะทดลองที่ความดัน 0.5 ถึง 2.0 บาร์ เช่นกัน ด้วยด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนที่ 1 ถึง 10 ชั่วโมง

5.1.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลน

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลนในแง่ของมวล คือ ความดันจ่ายเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง และเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอท กล่าวคือ

การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนและมวลที่แยกได้มีค่าสูงขึ้น

การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน ทำให้ความเร็วในแนวสัมผัสภายในไฮโดรไซโคลนและแรงเหวี่ยงภายในไฮโดรไซโคลนเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้น

การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างทำให้มวลที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างทำให้อัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างมีค่าลดลง เป็นเหตุให้มวลที่แยกออกทางด้านล่างมีค่าต่ำลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเป็นเพียงการปรับอัตราการไหลทางด้านล่าง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำดิบจริงจากสถานีสูบน้ำดิบสำแล และโรงกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งผลการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนมีค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอนในกริตพอทจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคภายในไฮโดรไซโคลนอย่างชัดเจน ในขณะที่มวลที่สะสมอยู่ภายในกริตพอทมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเก็บกักตะกอน

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อไฮโดรไซโคลนในแง่ของขนาดอนุภาค คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลน

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในแง่ของมวล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของขนาดอนุภาคที่แยกได้ กล่าวคือ เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลนลง จะส่งผลให้ขนาดอนุภาคที่แยกได้ลดลงไปด้วย ในขณะที่ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนจะสูงขึ้น

5.1.2 ประสิทธิภาพที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน

ไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา

งานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำดิบจริง 2 แห่ง คือ จากสถานีสูบน้ำดิบสำแลและโรงกรองน้ำสามเสน 2 ซึ่งมีความเข้มข้นสารแขวนลอยต่ำ ดังนั้นเมื่อนำไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด มาทดลองหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน พบว่า ที่ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ต่ำมากอย่างโรงกรองน้ำสามเสน 2 ปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านล่างมีค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ เมื่อนำไฮโดรไซโคลนมาใช้ที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 พบว่า การนำไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มาแยกสารแขวนลอยภายในไฮโดรไซโคลนนั้น ปริมาณสลัดจ์แยกออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนมีค่ามากกว่าปริมาณสลัดจ์ที่แยกออกทางด้านบน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 จะเห็นได้ว่า งานวิจัยนี้มีความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่าย

เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนต่ำกว่าถึง 10 – 20 เท่า ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สามารถนำมาใช้แยกสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้นต่ำได้

ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ทำให้ตะกอนที่ไหลออกทางด้านล่างของกริตพอทเกิดการสะสมตัวอยู่ภายใน และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในแง่ของมวลกับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา พบว่า ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทสามารถช่วยรวบรวมตะกอนความเข้มข้นและลดมวลก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาได้มากกว่า เป็นเหตุให้การติดตั้งกริตพอทที่ทางออกด้านล่างสามารถรวบรวมตะกอนไปกำจัดได้ง่ายกว่าการติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดาก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

จากการทดลองที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้าช่วงเวลากปกติ มีค่าประมาณ 20 – 40 มก./ล และในช่วงเวลาที่ทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ความดัน 1.0 บาร์ มีความเข้มข้นสารแขวนลอยจ่ายเข้า ประมาณ 105 มก./ล ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในช่วงเวลาดังกล่าวมีมากกว่าปกติ เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนในช่วงเวลานั้นมีค่าสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยดีขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนขึ้นกับความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนในกรณีที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษา และปัญหาที่พบมีข้อเสนอ ดังนี้

1. ในการหาประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทควรใช้เวลาในการเก็บกักตะกอนให้มากกว่าการทดลองในงานวิจัยนี้ เนื่องจากสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้น การนำไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอทมาใช้ นั้น เหมาะสมกับน้ำดิบที่มีสารแขวนลอยค่อนข้างสูงในระดับหนึ่ง และเนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนในงานวิจัยนี้มีเพียงเล็กน้อย ทำให้พื้นที่ในกริตพอทมีพื้นที่เหลืออีกมาก และกริตพอทยังสามารถสะสมตะกอนได้อีก ทำให้การทดลองหาประสิทธิภาพใน

การแยกสารแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา กับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอที่มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ว่า ถ้าความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบต่ำ และต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา กับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอนั้น การนำไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอควรเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนสารแขวนลอยใน กริตพอ เพื่อสังเกตว่า ถ้าตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในกริตพอที่มีมากจนเต็มกริตพอนั้น ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในกริตพอจะแตกต่างกันอย่างไร

2. การหาปริมาณสารส้มที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปามีหลายปัจจัย เช่น สահร่าย น้ำค้างบ่อ น้ำล้างบ่อ ความขุ่น ความเข้มข้นสารแขวนลอย เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาความขุ่น ความเข้มข้นสารแขวนลอย และขนาดอนุภาค เท่านั้น และในงานวิจัยนี้ไม่ได้หาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้มที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นเหตุให้งานวิจัยนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนการจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา จะสามารถลดปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ในระบบผลิตน้ำประปาได้เท่าไร ดังนั้น ถ้าต้องการทราบปริมาณสารส้มที่สามารถลดลงได้เมื่อนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา จึงควรที่จะศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเติมปริมาณสารส้มในระบบด้วย
3. งานวิจัยนี้ นำไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่มาติดตั้งก่อนการจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา คือไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร ที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 และสถานีสูบน้ำดิบสำแล แต่เนื่องจากความเข้มข้นสารแขวนลอยและขนาดอนุภาคที่ต่ำ ดังนั้นเมื่อเทียบขนาดของไฮโดรไซโคลนกับความเข้มข้นสารแขวนลอยในน้ำดิบ พบว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยมีค่าค่อนข้างต่ำ อาจกล่าวได้ว่า ควรมีการนำไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดดังกล่าวมาใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของสารแขวนลอยในน้ำดิบ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาให้ใช้ได้ในงานจริงด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมต่อไป
4. จากการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำดิบจริงที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยและขนาดอนุภาคในน้ำดิบที่ค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลน คือ ขนาดอนุภาคและความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การประปานครหลวง. การประปานครหลวง[Online]. (ม. ป. ป.). แหล่งที่มา:

<http://www.mwa.co.th/> [12 มกราคม 2550]

การประปานครหลวง. ระบบผลิตและสูบน้ำประปา[Online]. (ม. ป. ป.). แหล่งที่มา:

<http://www.mwa.co.th/produce.html> [12 มกราคม 2550]

การประปานครหลวง. โรงงานผลิตน้ำบางเขน[Online]. (ม. ป. ป.). แหล่งที่มา:

http://www.mwa.co.th/bkh_plant.html [12 มกราคม 2550]

การประปานครหลวง. โรงงานผลิตน้ำสามเสน[Online]. (ม. ป. ป.). แหล่งที่มา:

http://www.mwa.co.th/ss_plant.html [12 มกราคม 2550]

การประปานครหลวง. สถานีสูบน้ำดิบสำแล[Online]. (ม. ป. ป.). แหล่งที่มา:

http://www.mwa.co.th/sam_lae.html [12 มกราคม 2550]

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สยามสเตชันเนอรีซ์พ
พลายส์, 2542.

ธีระชัย บุญไธ ธีระชัย ทองอ่อน และสุริเยนทร์ วงศ์น้อย. เครื่องแยกทรายออกจากน้ำมันปาล์ม
ปริญญาานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ นิตยา มหามล และธีระ เกรอด. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ศิริไล กิจพิทักษ์. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ โรงกรองน้ำ
สามเสน 2, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Bloor, M. I. G. and Ingham D. B. Theoretical investigation of the flow in a conical hydrocyclone. Trans. Inst. Chem. Eng 51 (1973): 36 – 41

Bradley, D. The Hydrocyclone., Volume 4. first Edition. London: Pergamon Press Ltd, 1965.

Castilho, L. R. and Medronho, R. A. A simple procedure for design and performance prediction of Bradley and Rietema Hydrocyclone. Mineral Engineering 13 (2000): 183 – 191

Cilliers, J. J., Diaz – Anadon, L. and Wee, F. S. Temperature, Classification and dewatering in 10 mm hydrocyclones. Mineral Engineering 17 (2004): 591 – 597

Dai, G. D., Chen, W. M., Li, J. M. and Chu, L. Y. Experimental study of solid - liquid two-phase flow in a hydrocyclone. Chemical Engineering Journal 74 (1999): 211 – 216

Hsieh, K. T. and Rajamani, R. K. Mathematical model of the hydrocyclone based on physics of fluid flow. AIChE J 37(5) (1991): 735 – 746

Kelsall, D. F. A study of the motion of solid particles in a hydraulic cyclone. Trans. Inst. Chem. Eng 30 (1952): 87 – 107

Pasquier, S. and Cilliers, J. J. Sub-micron particle dewatering using hydrocyclones. Chemical Engineering Journal 80 (2000): 283–288

Puprasert, C., Hebrard, G., Lopez, L. and Aurelle, Y. Potential of using Hydrocyclone and Hydrocyclone equipped with Grit pot as pre – treatment in run – off water treatment. Chemical Engineering and Processing 43 (2004): 67 – 83

Schwerzler, G. I. Recycling of glaze waste through hydrocyclone separation. Powder Technology 160 (2005): 135 – 140

Svaravsky, L. Hydrocyclone., Pennsylvania: Rinehart and Winston Ltd, 1984.

Wang, B. and Yu, A. B. Numerical study of particle – fluid flow in hydrocyclones with different body dimensions. Minerals Engineering 19 (2006): 1022 -1033

Yang, I.H. A three – dimensional simulation of a hydrocyclone for the sludge separation in water purifying plants and comparison with experimental data. Mineral Engineering 17 (2004): 637 – 641

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก. 1 ความขุ่น

ตารางที่ ก. 1.1 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ช่องการไหล	ความดัน (บาร์)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
		0.5	1.0	1.5	2.0
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร					
จ่ายเข้า		23	24	23	25
ทางออกด้านบน		23	25	24	25
ทางออกด้านล่าง		26	25	27	27
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร					
จ่ายเข้า		27	25	26	29
ทางออกด้านบน		23	24	23	23
ทางออกด้านล่าง		26	28	27	29
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร					
จ่ายเข้า		25	24	26	27
ทางออกด้านบน		23	25	24	24
ทางออกด้านล่าง		27	28	29	28

ตารางที่ ก. 1.2 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไลโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ความดัน (บาร์) ช่องการไหล (วินาที)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
จ่ายเข้า	21	18	20	19
ทางออกด้านบน				
70	21	22	21	15
110	21	21	22	24
180	21	25	23	22
270	20	23	24	23
480	22	23	22	26
780	22	22	20	25
1200	23	22	18	24
1500	23	26	20	-
2400	23	25	21	21
3000	23	25	20	30
ทางออกด้านล่าง				
120	36	34	29	50
300	36	45	32	100
900	46	75	60	115
1800	59	80	70	125
3600	90	160	130	180

ตารางที่ ก. 1.3 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ช่องการไหล ความดัน (บาร์)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	28	28	28	28
ทางออกด้านบน	25	25	26	25
ทางออกด้านล่าง	30	30	30	42
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	28	28	28	28
ทางออกด้านบน	29	31	29	30
ทางออกด้านล่าง	34	37	34	42
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	28	28	28	28
ทางออกด้านบน	30	36	29	33
ทางออกด้านล่าง	33	45	45	37
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	28	28	28	28
ทางออกด้านบน	33	25	37	35
ทางออกด้านล่าง	30	44	55	61

ตารางที่ ก. 1.4 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไลโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ความดัน (บาร์) ช่องการไหล (วินาที)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
จ่ายเข้า	25	25	25	25
ทางออกด้านบน				
70	22	22	22	22
110	22	22	23	24
180	23	24	24	25
270	23	24	23	25
480	20	22	24	23
780	23	21	22	32
1200	21	23	21	23
1500	20	22	20	23
2400	23	24	23	21
3000	23	24	24	24
ทางออกด้านล่าง				
120	25	30	33	33
300	30	35	43	45
900	36	57	72	73
1800	53	75	90	95
3600	71	90	140	190

ตารางที่ ก. 1.5 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไลโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ช่องกรไหล ความดัน (บาร์)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	28	28	28	28
ทางออกด้านบน	29	28	31	27
ทางออกด้านล่าง	31	33	35	35
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	27	27	27	27
ทางออกด้านบน	27	29	28	27
ทางออกด้านล่าง	31	33	34	36
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	25	25	25	25
ทางออกด้านบน	28	27	27	27
ทางออกด้านล่าง	41	31	31	37

ตารางที่ ก. 1.6 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ช่องการไหล (นาท) ความดัน (บาร์)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
จ่ายเข้า	36	83	123	132
ทางออกด้านบน				
30	21	-	96	167
45	21	66	-	-
75	26	66	-	-
90	23	68	94	145
105	27	69	-	-
135	27	204	-	-
150	22	208	85	189
165	29	211	-	-
195	32	153	-	-
210	19	154	69	148
225	32	154	-	-
255	32	89	-	-
270	28	86	74	196
285	28	83	-	-
330	21	-	103	148
375	29	-	-	-
405	29	-	-	-
435	35	-	-	-
465	35	-	-	-
525	92	-	-	-
585	88	-	-	-
ทางออกด้านล่าง				
60	227	505	267	578
120	346	1115	384	693
180	698	2145	473	789
240	770	2300	357	843
300	1000	2170	569	986
360	974	1580	698	1089
420	1332	-	-	-
480	1844	-	-	-
600	1670	-	-	-

ตารางที่ ก. 1.7 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไลโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ความดัน (บาร์) ช่องการไหล (นาทีก)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	34	34	34	34
ทางออกด้านบน	33	32	32	33
ทางออกด้านล่าง	44	46	48	51
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	33	33	33	33
ทางออกด้านบน	32	31	29	31
ทางออกด้านล่าง	55	69	77	86
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	31	31	31	31
ทางออกด้านบน	31	30	31	31
ทางออกด้านล่าง	82	126	163	187
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร				
จ่ายเข้า	30	30	30	30
ทางออกด้านบน	30	27	29	31
ทางออกด้านล่าง	126	214	239	271

ตารางที่ ก. 1.8 ผลการทดลองหาความขุ่นที่ได้จากไฮโดรไลโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอยท์ (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ความดัน (บาร์) ช่องการไหล (นาทีก)	ความขุ่นของน้ำ (NTU)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
จ่ายเข้า	154	136	89	141
ทางออกด้านบน				
30	198	134	127	121
90	167	167	102	117
150	156	142	74	170
210	136	134	111	121
270	174	152	75	199
330	194	111	70	109
ทางออกด้านล่าง				
60	2685	1440	1300	1620
120	2850	1760	2480	2750
180	3510	2230	3730	3880
240	3430	2950	3845	2210
300	2640	2100	4500	4090
360	3160	2496	2680	8500

ตารางที่ ก. 2 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอย

ตารางที่ ก. 2.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่าย	ความเข้มข้นจ่าย	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
12 มม.	0.5	29.60	22.00	44.13
	1.0	36.80	23.20	50.80
	1.5	41.60	22.80	61.67
	2.0	37.20	23.67	63.00
10 มม.	0.5	30.40	21.73	37.87
	1.0	28.00	20.93	44.13
	1.5	29.60	20.53	55.33
	2.0	31.00	21.60	57.82
8 มม.	0.5	32.47	26.27	37.07
	1.0	33.15	27.87	42.13
	1.5	32.37	26.80	53.14
	2.0	32.27	23.47	84.00

ตารางที่ ก 2.2 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่ายเข้า	ความเข้มข้นจ่าย	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
10 มม.	0.5	25.4	22.00	28.00
	1.0	25.4	25.00	29.60
	1.5	25.4	24.00	33.00
	2.0	25.4	22.00	32.00
9 มม.	0.5	23.6	22.00	26.00
	1.0	23.6	21.20	28.36
	1.5	23.6	24.40	32.17
	2.0	23.6	23.20	34.90
6 มม.	0.5	31.4	25.20	38.00
	1.0	31.4	28.20	42.80
	1.5	31.4	26.40	50.80
	2.0	31.4	26.40	59.03
4 มม.	0.5	30.0	28.40	32.30
	1.0	30.0	27.69	41.76
	1.5	30.0	27.65	49.81
	2.0	30.0	25.60	53.99

ตารางที่ ก. 2.3. ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่าย	เวลา	ความเข้มข้นจ่ายเข้า	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น (ม ก./ลิตร)
10	0.5	120	26.20	22.70	66.40
		300	26.20	21.90	94.00
		900	26.20	23.10	124.00
		1800	26.20	22.63	245.60
		3600	26.20	23.30	364.80
10	1.0	120	25.60	21.60	51.60
		300	25.60	22.00	74.00
		900	25.60	22.00	179.20
		1800	25.60	21.55	250.80
		3600	25.60	22.00	587.60
10	1.5	120	24.60	20.95	80.00
		300	24.60	20.60	96.80
		900	24.60	20.00	237.20
		1800	24.60	22.31	437.60
		3600	24.60	21.00	932.40
10	2.0	120	27.00	20.20	122.80
		300	27.00	24.80	311.20
		900	27.00	23.60	397.60
		1800	27.00	20.00	606.40
		3600	27.00	21.20	1070.40

ตารางที่ ก. 2.4 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่ายเข้า	เวลา	ความเข้มข้นจ่าย	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น (มก./ลิตร)
10	0.5	120	35.20	24.00	28.00
		300	35.20	23.20	32.00
		900	35.20	22.40	67.20
		1800	35.20	22.80	176.80
		3600	35.20	22.60	330.00
10	1.0	120	35.60	23.40	47.20
		300	35.60	22.40	72.00
		900	35.60	22.00	180.40
		1800	35.60	22.35	326.40
		3600	35.60	22.60	661.20
10	1.5	120	34.02	23.00	58.40
		300	34.02	20.60	99.20
		900	34.02	20.00	229.60
		1800	34.02	19.90	418.80
		3600	34.02	21.80	734.80
10	2.0	120	35.17	22.00	67.60
		300	35.17	22.00	116.00
		900	35.17	22.20	270.80
		1800	35.17	21.60	512.40
		3600	35.17	21.00	1066.80

ตารางที่ ก. 2.5 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่าย	ความเข้มข้นจ่ายเข้า	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
12 มม.	0.5	34.0	28.40	45.60
	1.0	34.0	28.00	49.20
	1.5	34.0	29.20	45.20
	2.0	34.0	27.20	60.40
10 มม.	0.5	33.2	27.60	42.80
	1.0	33.2	28.00	49.20
	1.5	33.2	26.80	54.40
	2.0	33.2	27.20	62.80
8 มม.	0.5	25.2	23.60	48.00
	1.0	25.2	24.80	60.00
	1.5	25.2	28.00	60.40
	2.0	25.2	29.00	63.20

ตารางที่ ก. 2.6 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันจ่าย	ความเข้มข้นจ่ายเข้า	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
10 มม.	0.5	43.2	34.00	49.60
	1.0	43.2	34.40	75.20
	1.5	43.2	32.40	83.00
	2.0	43.2	38.00	95.00
9 มม.	0.5	41.2	34.40	121.00
	1.0	41.2	35.60	161.00
	1.5	41.2	35.20	192.00
	2.0	41.2	34.40	198.00
6 มม.	0.5	36.4	35.20	243.00
	1.0	36.4	31.60	316.00
	1.5	36.4	32.80	447.00
	2.0	36.4	31.20	483.00
4 มม.	0.5	35.2	32.80	454.00
	1.0	35.2	36.40	599.00
	1.5	35.2	28.40	791.00
	2.0	35.2	28.00	843.00

ตารางที่ ก. 2.7 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มม.)	ความดันจ่าย เข้า (บาร์)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นจ่าย เข้า (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นด้านบน (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นด้านล่าง (มก./ลิตร)
10	0.5	60	21.60	18.30	2744
		120	29.20	24.53	2796
		180	33.20	26.53	9140
		240	33.20	26.00	9336
		300	25.73	21.50	13160
		360	21.60	19.65	11308
		420	29.40	24.05	14828
		480	39.20	27.20	10906
		600	64.40	52.40	7517
10	1.0	60	45.00	33.00	2392
		120	45.50	32.60	7144
		180	105.00	33.20	9200
		240	55.00	43.00	11820
		300	86.00	39.00	12450
		360	90.50	27.60	31320
10	1.5	60	83.80	58.40	6234
		120	82.80	59.30	14820
		180	52.00	28.40	12362
		240	54.00	27.20	12986
		300	49.00	27.20	15672
		360	55.00	36.80	14946
10	2.0	60	81.40	49.20	11678
		120	83.60	56.40	13222
		180	82.00	57.60	13330
		240	82.40	63.20	37104
		300	83.10	56.40	23708
		360	82.90	56.00	23600

ตารางที่ ก. 2.8 ผลการทดลองหาความเข้มข้นแขวนลอยที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มม.)	ความดันจ่ายเข้า (บาร์)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นจ่าย เข้า (มก./ลิตร)	ความเข้มข้น (ทางออกด้านบน) (มก./ลิตร)	ความเข้มข้น (ทางออกด้านล่าง) (มก./ลิตร)
10	0.5	60	82.40	69.65	8460
		120	85.90	67.34	10648
		180	95.00	68.42	29688
		240	85.90	68.73	6210
		300	79.60	69.20	11364
		360	80.40	66.40	11836
10	1.0	60	83.20	70.40	13398
		120	66.80	53.60	4660
		180	61.60	52.80	7760
		240	60.00	50.80	7858
		300	50.80	42.13	9550
		360	61.60	41.86	7694
10	1.5	60	56.00	32.00	5555
		120	76.40	54.36	9885
		180	72.40	53.80	14890
		240	74.00	51.40	11272
		300	61.60	44.80	23275
		360	67.60	40.80	12635
10	2.0	60	74.80	59.60	4570
		120	77.20	53.20	10340
		180	107.20	74.80	13045
		240	99.60	73.20	9690
		300	83.20	46.82	10495
		360	99.60	54.13	28870

ตารางที่ ก. 3 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาค

ตารางที่ ก. 3.1 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2) (ไม่ครอน)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	เข้าไฮโดรไซโคลน				ทางออกด้านบน				ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
8	9.5	8.9	10.9	13.7	10.6	10.1	9.6	8.6	12.7	22.0	28.2	33.0
10	10.0	10.2	11.5	12.7	9.6	9.3	10.2	10.3	10.8	11.9	18.4	19.8
12	8.8	10.2	10.2	11.7	9.6	9.8	9.8	10.4	12.3	13.0	16.2	42.7

ตารางที่ ก. 3.2 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2) (ไม่ครอน)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	เข้าไฮโดรไซโคลน				ทางออกด้านบน				ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
4	11.9	11.9	11.9	11.9	18.3	11.7	11.6	14.5	23.1	29.7	19.5	19.9
6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.3	9.1	7.3	6.9	18.9	25.0	14.6	20.3
9	8.9	8.9	8.9	8.9	7.0	7.2	7.2	7.3	12.2	17.2	19.1	18.6
10	8.2	8.2	8.2	8.2	7.5	7.1	6.8	7.6	11.8	12.4	14.4	13.1

ตารางที่ ก. 3.3 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2) (ไม่ครอน)

เวลา (วินาที)	จ่ายเข้า				ทางออกด้านบน				เวลา (วินาที)	ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0		P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
70	5.1	4.7	4.2	5.6	4.2	4.2	4.2	5.7	120	66.2	18.6	16.3	29.1
110	5.1	4.7	4.2	5.6	4.0	4.3	4.2	5.3	300	41.4	30.0	25.4	35.5
180	5.1	4.7	4.2	5.6	3.8	4.5	4.4	5.1	900	52.2	31.8	31.4	40.0
270	5.1	4.7	4.2	5.6	4.0	4.9	4.2	5.1	1800	43.7	32.3	29.3	35.8
480	5.1	4.7	4.2	5.6	4.3	4.4	4.0	5.0	3600	42.9	36.5	43.4	27.8
780	5.1	4.7	4.2	5.6	4.0	4.4	4.4	5.1					
1200	5.1	4.7	4.2	5.6	4.3	4.1	3.9	5.3					
1500	5.1	4.7	4.2	5.6	3.9	4.1	4.0	5.0					
2400	5.1	4.7	4.2	5.6	4.3	4.3	3.8	4.9					
3000	5.1	4.7	4.2	5.6	4.3	4.4	3.7	5.0					

ตารางที่ ก. 3.4 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2) (ไม่ครอน)

เวลา (วินาที)	จ่ายเข้า				ทางออกด้านบน				เวลา (วินาที)	ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0		P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
70	7.8	6.8	5.2	5.4	6.7	5.5	4.3	4.5	120	11.8	14.6	17.5	15.3
110	7.8	6.8	5.2	5.4	6.0	5.5	4.6	5.0	300	14.3	18.3	20.6	17.0
180	7.8	6.8	5.2	5.4	5.6	5.8	4.2	6.1	900	26.8	24.3	21.9	20.0
270	7.8	6.8	5.2	5.4	5.7	5.6	4.7	5.3	1800	29.8	29.1	24.3	21.3
480	7.8	6.8	5.2	5.4	5.9	5.7	4.5	4.7	3600	32.1	31.3	25.7	37.9
780	7.8	6.8	5.2	5.4	5.6	5.3	4.7	5.5					
1200	7.8	6.8	5.2	5.4	6.6	4.5	4.6	4.8					
1500	7.8	6.8	5.2	5.4	7.0	4.0	6.0	4.6					
2400	7.8	6.8	5.2	5.4	5.1	6.0	4.6	4.8					
3000	7.8	6.8	5.2	5.4	6.2	5.9	4.6	4.2					

ตารางที่ ก. 3.5 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) (ไม่ครอน)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	เข้าไฮโดรไซโคลน				ทางออกด้านบน				ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
8	9.0	9.0	9.0	9.0	7.4	8.1	8.6	8.2	19.0	19.8	21.1	22.7
10	9.5	9.5	9.5	9.5	8.2	7.1	7.6	7.7	17.1	16.8	17.1	18.5
12	9.6	9.6	9.6	9.6	7.6	7.3	7.9	7.9	13.7	15.6	17.9	20.0

ตารางที่ ก. 3.6 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) (ไม่ครอน)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มิลลิเมตร)	เข้าไฮโดรไซโคลน				ทางออกด้านบน				ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
4	10.3	10.3	10.3	10.3	9.3	9.5	9.0	9.4	38.5	36.9	34.4	33.6
6	10.1	10.1	10.1	10.1	9.6	9.1	8.4	8.3	31.9	32.3	31.2	31.1
9	10.3	10.3	10.3	10.3	9.1	8.5	8.0	8.4	24.1	27.0	26.7	26.0
10	9.9	9.9	9.9	9.9	8.9	9.1	8.3	9.2	14.7	16.0	16.7	18.7

ตารางที่ ก. 3.7 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) (ไม่ครอน)

ความดัน (บาร์)	เวลา (นาที)	จ่าย เข้า	ทางออก ด้านบน	เวลา (นาที)	ทางออก ด้านล่าง
0.5	30	8.288	6.782	60	48.970
	45	8.288	7.530	120	52.549
	75	7.403	6.847	180	54.504
	90	8.340	7.242	240	52.124
	105	7.263	7.472	300	48.681
	135	6.926	6.981	360	46.653
	150	8.340	7.188	420	48.915
	165	7.263	7.038	480	45.537
	195	9.199	9.037	600	43.203
	210	8.848	7.103		
	225	9.052	8.921		
	255	9.857	9.338		
	270	9.052	6.977		
	330	9.052	6.553		
	375	9.207	8.650		
	405	9.857	9.101		
	435	10.248	9.132		
	465	12.141	8.693		
	525	5.348	4.568		
585	4.858	4.522			

ตารางที่ ก. 3.7 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) (ไม่ครอน) (ต่อ)

ความดัน (บาร์)	เวลา (นาที)	จ่ายเข้า	ทางออก ด้านบน	เวลา (นาที)	ทางออก ด้านล่าง
1.0	15	14.2	10.6	60	40.4
	45	13.4	12.0	120	38.2
	75	13.4	13.0	180	35.4
	105	12.8	12.6	240	33.5
	135	4.2	3.8	300	36.5
	165	4.1	4.0	360	38.7
	195	8.6	4.5		
	225	9.4	4.5		
	255	14.2	11.7		
	285	13.1	11.8		
	315	8.6	7.9		
	345	8.6	8.5		
1.5	30	12.5	7.0	60	36.7
	90	6.9	6.6	120	32.2
	150	13.2	12.1	180	32.8
	210	12.8	11.8	240	30.6
	270	13.4	13.2	300	32.0
	330	14.2	13.7	360	32.1
2.0	30	10.5	9.0	60	32.8
	90	11.4	8.9	120	28.9
	150	9.7	7.8	180	31.2
	210	10.8	7.8	240	29.8
	270	7.9	7.5	300	27.5
	330	7.9	5.9	360	26.9

ตารางที่ ก. 3.8. ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่ได้จากไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) (ไม่ครอน)

เวลา (นาที)	จ่ายเข้า				ทางออกด้านบน				เวลา (นาที)	ทางออกด้านล่าง			
	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0	P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0		P 0.5	P 1.0	P 1.5	P 2.0
30	9.9	11.4	14.2	12.8	9.1	9.0	15.7	12.6	60	33.9	27.3	37.1	33.5
90	11.9	9.8	7.5	9.1	10.5	8.1	7.4	8.4	120	32.9	30.4	30.0	29.3
150	13.3	9.3	11.4	5.4	9.2	6.3	10.8	5.2	180	22.8	29.3	31.6	28.0
210	12.9	9.0	5.0	8.9	11.3	5.3	4.8	7.8	240	27.5	25.9	32.1	27.9
270	12.4	10.0	12.8	5.1	10.2	9.1	12.3	5.4	300	27.8	31.4	27.9	29.0
330	11.4	7.6	12.6	8.3	8.8	5.9	12.1	8.0	360	27.8	26.6	28.1	29.2

ภาคผนวก ข

การคำนวณมวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน

การคำนวณมวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน

1. อัตราการไหล

อัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลน (Feed flowrate), Q_f : วัดและประมวลผลโดยเครื่องมือวัดอัตราการไหล

อัตราการไหลที่ทางออกด้านล่าง (Underflow flowrate), Q_u : หาอัตราการไหลด้วยวิธีวัดปริมาตรเทียบกับเวลา (Time volume method)

อัตราการไหลที่ทางออกด้านบน (Overflow flowrate), Q_o : หาอัตราการไหลด้วยการคำนวณจากการดุลอัตราการไหล (Mass Balance)

$$\text{อัตราการไหลเข้า} = \text{อัตราการไหลที่ทางออกด้านบน} + \text{อัตราการไหลที่ทางออกด้านล่าง} \quad (1)$$

2. ดุลมวล (Mass Balance) ของมวลในไฮโดรไซโคลนที่ไม่ติดตั้งกริตพอท

มวลที่เข้าไฮโดรไซโคลน = มวลที่ทางออกด้านบน + มวลที่ทางออกด้านล่าง

$$Q_f C_f = Q_o C_o + Q_u C_u \quad (2)$$

3. ดุลมวล (Mass Balance) ของไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

มวลที่เข้าไฮโดรไซโคลน = มวลที่ทางออกด้านบน + มวลที่สะสมอยู่ในกริตพอท

$$Q_f C_f T = Q_o C_o T + V_{GP} C_{GP} \quad (3)$$

4. ประสิทธิภาพในการแยกในไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

$$E'_T = \frac{Q_u (C_u - C_f)}{Q_f C_f} \times 100 \quad (4)$$

5. ประสิทธิภาพในการแยกในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

$$E'_T = \frac{(\text{มวลเข้า} \times \text{เวลา}) - (\text{มวลออกด้านบน} \times \text{เวลา})}{(\text{มวลเข้า} \times \text{เวลา})} \quad (5)$$

ตัวอย่างการคำนวณมวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลอน

1. ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์ ไม่ติดตั้งกริตพอท

1.1 ดุลยภาพมวล (Mass Balance)

1.1.1. มวลเข้า (Feed mass)

จากสมการที่ (2) มวลเข้า (Feed mass) = $Q_F C_F$

$$\begin{aligned}
 &= 3.47 \frac{\text{ลบ.ม.}}{\text{ชม.}} \times 29.6 \frac{\text{มก.}}{\text{ล.}} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60 \text{ นาที}} \times \frac{1000 \text{ ล.}}{1 \text{ ลบ.ม.}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มก.}} \\
 &= 1.712 \frac{\text{กรัม}}{\text{นาที}}
 \end{aligned}$$

1.1.2. มวลทางออกด้านบน (Overflow Mass)

จากสมการที่ (2) มวลทางออกด้านบน (Overflow Mass) = $Q_O C_O$

$$\begin{aligned}
 &= 2.65 \frac{\text{ลบ.ม.}}{\text{ชม.}} \times 22.0 \frac{\text{มก.}}{\text{ล.}} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60 \text{ นาที}} \times \frac{1000 \text{ ล.}}{1 \text{ ลบ.ม.}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มก.}} \\
 &= 0.972 \frac{\text{กรัม}}{\text{นาที}}
 \end{aligned}$$

1.1.3. มวลทางออกด้านล่าง (Underflow Mass)

จากสมการที่ (2) มวลทางออกด้านล่าง (Underflow Mass) = $Q_U C_U$

$$\begin{aligned}
 &= 0.82 \frac{\text{ลบ.ม.}}{\text{ชม.}} \times 44.13 \frac{\text{มก.}}{\text{ล.}} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60 \text{ นาที}} \times \frac{1000 \text{ ล.}}{1 \text{ ลบ.ม.}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มก.}}
 \end{aligned}$$

$$= 0.603 \frac{\text{กรัม}}{\text{นาที}}$$

1.2. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

จากสมการที่ (4) ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

$$E'_T = \frac{0.82(44.13 - 29.6)}{3.14 \times 29.6} \times 100$$

$$E'_T = 15.189 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

2. ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเก็บกัก 120 วินาที ติดตั้งกริดพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

2.1. ดุลยภาพมวล (Mass Balance)

2.1.1. มวลเข้า (Feed Mass)

จากสมการที่ (2) มวลเข้า (Feed mass) = $Q_F C_F T$

$$= 3.70 \frac{\text{ลบ.ม.}}{\text{ชม.}} \times 26.2 \frac{\text{มก.}}{\text{ล}} \times 120 \text{ วินาที} \times \frac{1 \text{ นาที}}{60 \text{ วินาที}} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60 \text{ นาที}} \times \frac{1000 \text{ ล}}{1 \text{ ลบ.ม.}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มก.}}$$

เมื่อสะสมตะกอนผ่านไป 120 วินาที พบว่า มีมวลจ่ายเข้า 3.23 กรัม

ดังนั้น ใน 1 นาที มีมวลจ่ายเข้า

$$= \frac{3.23 \text{ กรัม}}{120 \text{ วินาที}} \times \frac{60 \text{ วินาที}}{1 \text{ นาที}}$$

$$= 1.62 \text{ กรัมต่อนาที}$$

2.1.2. มวลออกด้านบน (Overflow Mass)

จากสมการที่ (2) มวลออกด้านบน (Overflow Mass) = $Q_o C_o$

$$= 3.70 \frac{\text{ลบ.ม.}}{\text{ชม.}} \times 22.7 \frac{\text{มก.}}{\text{ล}} \times 120 \text{ วินาที} \times \frac{1 \text{ นาที}}{60 \text{ วินาที}} \times \frac{1 \text{ ชม.}}{60 \text{ นาที}} \times \frac{1000 \text{ ล}}{1 \text{ ลบ.ม.}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ มก.}}$$

เมื่อสะสมตะกอนผ่านไป 120 วินาที พบว่า มีมวลออกทางด้านบน 2.80 กรัม

ดังนั้น ใน 1 นาที มีมวลออกทางด้านบน

$$= \frac{2.80 \text{ กรัม}}{120 \text{ วินาที}} \times \frac{60 \text{ วินาที}}{1 \text{ นาที}}$$

$$= 1.40 \text{ กรัมต่อนาที}$$

2.1.3. มวลที่สะสมอยู่ในกริตพอท

จากสมการที่ (3) มวลที่สะสมอยู่ในกริตพอท = $V_{GP} C_{GP}$

$$= 1.2 \text{ ลิตร} \times 66.4 \frac{\text{มก.}}{\text{ล}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1,000 \text{ มก.}}$$

$$= 0.08 \text{ กรัม}$$

จากสมการที่ (2) มวลที่สะสมในกริตพอท = มวลที่จ่ายเข้า - มวลที่ออกด้านบน

$$= 3.24 - 2.76$$

$$= 0.48 \text{ กรัม}$$

แต่จากการคำนวณมวลที่สะสมในกริตพอทระหว่างมวลที่สะสมในกริตพอทในสมการที่ 3 กับการคำนวณมวลจากสมดุลภาพ พบว่า มวลที่สะสมในกริตพอทมีค่าต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากการเก็บน้ำตัวอย่างในกริตพอทอาจมีสารแขวนลอยในส่วนของไฮโดรไซโคลนบางส่วนผสมมาด้วย ทำให้ยากและไม่ถูกต้องมากนักต่อการเก็บน้ำตัวอย่างในส่วนนี้ ในขณะที่การเก็บน้ำตัวอย่างที่ออกทางด้านบนสามารถเก็บได้ง่ายกว่าและมีการเก็บน้ำตัวอย่างหลายครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา

การทดลองเดียวกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้วิธีคำนวณมวลจากตุลมวลมาคำนวณหามวลที่สะสมในกริตพอท

2.1.4. ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน

ประสิทธิภาพในการแยกสารแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนจากสมการที่ (5)

$$E'_T = \frac{(0.0269 \times 120) - (0.0233 \times 120)}{(0.0269 \times 120)} \times 100$$

$$= 13.357 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ข. 1. มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลน

ตารางที่ ข. 1.1 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก ด้านล่าง (มม.)	ความดันจ่ายเข้า (บาร์)	มวล จ่ายเข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านบน) (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านล่าง) (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพในการแยก อนุภาคในไฮโดรไซโคลน
12	0.5	1.712	0.972	0.603	15.2
	1.0	2.969	1.322	1.202	15.8
	1.5	4.105	1.642	1.583	17.2
	2.0	4.216	2.063	1.754	22.1
10	0.5	1.789	1.050	0.454	6.1
	1.0	2.259	1.395	0.669	13.1
	1.5	2.921	1.718	1.005	18.9
	2.0	3.539	1.955	1.330	22.0
8	0.5	1.878	1.314	0.309	2.4
	1.0	2.674	1.974	0.393	3.6
	1.5	3.194	2.233	0.824	11.9
	2.0	3.641	2.191	1.666	34.1

ตารางที่ ข. 1.2 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	เวลา (วินาที)	มวลจ่าย เข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านบน) (กรัม/นาที)	มวลใน กริตพอท (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพใน การแยกอนุภาค ในไฮโดรไซโคลน
0.5	120	1.616	1.400	0.216	13.359
	300	1.616	1.351	0.265	16.412
	900	1.616	1.425	0.191	11.832
	1800	1.616	1.395	0.220	13.645
	3600	1.616	1.437	0.179	11.069
1.0	120	1.929	1.627	0.301	15.625
	300	1.929	1.657	0.271	14.063
	900	1.929	1.657	0.271	14.063
	1800	1.929	1.623	0.305	15.820
	3600	1.929	1.657	0.271	14.063
1.5	120	2.280	1.941	0.339	14.858
	300	2.280	1.909	0.371	16.260
	900	2.280	1.853	0.426	18.699
	1800	2.280	2.067	0.212	9.309
	3600	2.280	1.946	0.334	14.634
2.0	120	3.114	2.330	0.784	25.185
	300	3.114	2.860	0.254	8.148
	900	3.114	2.722	0.392	12.593
	1800	3.114	2.307	0.807	25.926
	3600	3.114	2.445	0.669	21.481

ตารางที่ ข. 1.3 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
(โรงกรองน้ำสามเสน 2)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกด้านล่าง (มม.)	ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	มวล จ่ายเข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านบน) (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านล่าง) (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพใน การแยกอนุภาค ในไฮโดรไซโคลน
10	0.5	0.766	0.502	0.219	3.514
	1.0	1.080	0.828	0.323	5.454
	1.5	1.329	1.020	0.375	7.991
	2.0	1.558	1.137	0.438	6.879
9	0.5	0.692	0.480	0.147	2.639
	1.0	0.983	0.767	0.180	3.532
	1.5	1.168	1.029	0.263	7.033
	2.0	1.349	1.163	0.320	8.752
6	0.5	0.869	0.585	0.184	4.373
	1.0	1.251	0.926	0.278	7.187
	1.5	1.560	1.179	0.296	8.072
	2.0	1.806	1.407	0.285	7.979
4	0.5	0.845	0.719	0.102	0.958
	1.0	1.155	0.960	0.146	3.958
	1.5	1.545	1.263	0.324	9.399
	2.0	1.775	1.399	0.234	6.339

ตารางที่ ข. 1.4 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	เวลา (วินาที)	มวลจ่ายเข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางบน) (กรัม/นาที)	มวลใน ก (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพใน การแ ในไฮโดรไซโคลน
0.5	120	1.068	0.728	0.340	31.8
	300	1.068	0.704	0.364	34.1
	900	1.068	0.679	0.388	36.4
	1800	1.068	0.692	0.376	35.2
	3600	1.068	0.686	0.382	35.8
1.0	120	1.489	0.979	0.510	34.3
	300	1.489	0.937	0.552	37.1
	900	1.489	0.920	0.569	38.2
	1800	1.489	0.935	0.554	37.2
	3600	1.489	0.945	0.544	36.5
1.5	120	1.701	1.150	0.551	32.4
	300	1.701	1.030	0.671	39.4
	900	1.701	1.000	0.701	41.2
	1800	1.701	0.995	0.706	41.5
	3600	1.701	1.090	0.611	35.9
2.0	120	2.028	1.269	0.759	37.4
	300	2.028	1.269	0.759	37.4
	900	2.028	1.280	0.748	36.9
	1800	2.028	1.246	0.783	38.6
	3600	2.028	1.211	0.817	40.3

ตารางที่ ข. 1.5 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
(สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออก (มม.)	ความดัน จ (บาร์)	มวลจ่ายเข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทาง (กรัม/นาที)	มวล (ทาง (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพในการ แยก ใน ไฮโดรไซโคลน
12	0.5	1.864	1.226	0.532	9.2
	1.0	2.567	1.568	0.959	15.6
	1.5	3.162	2.000	1.107	11.8
	2.0	3.644	2.203	1.580	25.1
10	0.5	1.881	1.339	0.350	4.9
	1.0	2.529	1.722	0.722	11.5
	1.5	3.093	2.068	0.870	13.2
	2.0	3.602	2.366	1.350	22.0
8	0.5	1.407	1.129	0.384	15.1
	1.0	1.877	1.624	0.540	19.0
	1.5	2.348	2.226	0.825	24.0
	2.0	2.667	2.557	1.117	30.2

ตารางที่ ข. 1.6 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	เวลา (นาที)	มวลจ่ายเข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านบน) (กรัม)	มวลใน กริตพอท (กรัม)	ประสิทธิภาพใน การแยกอนุภาค ในไฮโดรไซโคลน
0.5	60	1.43	1.21	0.22	15.28
	120	1.60	1.34	0.26	15.99
	180	1.81	1.45	0.36	20.09
	240	1.81	1.42	0.39	21.69
	300	1.41	1.18	0.23	16.44
	360	1.43	1.30	0.13	9.03
	420	1.72	1.41	0.31	18.20
	480	2.30	1.60	0.70	30.61
	600	3.70	3.01	0.69	18.63
1.0	60	3.49	2.56	0.93	26.67
	120	3.53	2.53	1.00	28.35
	180	8.14	2.57	5.56	68.38
	240	4.26	3.33	0.93	21.82
	300	6.67	3.02	3.64	54.65
	360	7.01	2.14	4.87	69.50
1.5	60	7.78	5.42	2.36	30.31
	120	7.69	5.51	2.18	28.38
	180	4.79	2.62	2.18	45.38
	240	4.98	2.51	2.47	49.63
	300	4.52	2.51	2.01	44.49
	360	5.07	3.39	1.68	33.09
2.0	60	8.59	5.19	3.40	39.56
	120	8.82	5.95	2.87	32.54
	180	8.65	6.08	2.57	29.76
	240	8.69	6.67	2.03	23.30
	300	8.77	5.95	2.82	32.13
	360	8.75	5.91	2.84	32.45

ตารางที่ ข. 1.7 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
(สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออก (มม.)	ความดัน จ้ำ (บาร์)	มวล (กรัม/นาที)	มวล (ทางอ บน) (กรัม/นาที)	มวล (ทางอ 'าง) (กรัม/นาที)	ประสิทธิภาพในการ แยกอนุภาคในไฮโดร ไซโคลน
10	0.5	1.282	0.748	0.380	5.2
	1.0	1.771	1.049	0.790	25.5
	1.5	2.196	1.280	0.941	26.4
	2.0	2.520	1.729	1.219	33.8
9	0.5	1.236	0.952	0.282	16.3
	1.0	1.730	1.394	0.456	21.0
	1.5	2.163	1.731	0.640	24.8
	2.0	2.499	1.961	0.726	24.5
6	0.5	0.922	0.868	0.162	15.3
	1.0	1.262	1.069	0.263	18.9
	1.5	1.565	1.383	0.373	22.3
	2.0	1.808	1.524	0.402	20.9
4	0.5	1.038	0.962	0.076	6.8
	1.0	1.431	1.468	0.200	13.2
	1.5	1.742	1.396	0.264	14.6
	2.0	1.983	1.568	0.281	13.7

ตารางที่ ข. 1.8 มวลที่แยกได้ในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ค จ่ายเข้า (บาร์)	เวลา (นาที)	มวลจ่าย เข้า (กรัม/นาที)	มวล (ทางออกด้านบน) (กรัม/นาที)	มวลใน กริตพอท (กรัม/นาที)	การแยกอนุภาคใน ไฮโดรไซโคลน
0.5	60	2.33	1.97	0.36	15.47
	120	2.91	2.28	0.63	21.61
	180	3.21	2.31	0.90	27.98
	240	2.68	2.14	0.54	19.99
	300	2.48	2.16	0.32	13.07
	360	2.51	2.07	0.44	17.41
1.0	60	3.36	2.84	0.52	15.38
	120	2.78	2.23	0.55	19.76
	180	2.57	2.20	0.37	14.29
	240	2.50	2.12	0.38	15.33
	300	2.12	1.76	0.36	17.07
	360	2.60	1.77	0.83	32.05
1.5	60	2.74	1.57	1.18	42.86
	120	3.74	2.66	1.08	28.85
	180	3.62	2.69	0.93	25.69
	240	3.72	2.59	1.14	30.54
	300	3.08	2.24	0.84	27.27
	360	3.38	2.04	1.34	39.64
2.0	60	4.28	3.41	0.87	20.32
	120	4.41	3.04	1.37	31.09
	180	6.04	4.21	1.83	30.22
	240	5.69	4.18	1.51	26.51
	300	4.66	2.62	2.04	43.73
	360	5.69	3.09	2.60	45.65

ภาคผนวก ค

การคำนวณปริมาณสัจด์์ที่ลดลง

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

1. ไฮโดรไซโคลอนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

ในงานวิจัยนี้ต้องการหาปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อนำไฮโดรไซโคลอนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ดังนั้นจึงได้สมมุติให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาและความเข้มข้นสารแขวนลอยที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลอนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปามีค่าเท่ากัน ซึ่งจากการสอบถามข้อมูลของลักษณะน้ำดิบของโรงกรองน้ำสามเสน 2 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 พบว่าในช่วงเดือนตุลาคม 2550 มีอัตราการไหลเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา 108,518 ลบ.ม./วัน และมีความเข้มข้นสารแขวนลอยเฉลี่ย 34 มก./ล ในที่นี้จะได้แสดงตัวอย่างการคำนวณของชุดการทดลองที่ดำเนินการที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล

ไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์ มีความเข้มข้นสารแขวนลอยที่เข้าไฮโดรไซโคลอน 34 มก./ล และจากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านบน 28 มก./ล

- ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

ปริมาณสลัดจ์ที่ถูกกำจัดโดยการทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดา (สมมติ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย 100 เปอร์เซ็นต์)

$$= (34 \times 108,518) / 1000$$

$$= 3,689.60 \text{ กก./วัน}$$

$$= 3.69 \text{ ตัน/วัน}$$

- จากการทดลองเปรียบเทียบเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลอนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนการแบ่งอัตราการไหล (Flow Split Ratio) มีค่าเท่ากับ 0.24 ดังนั้น

$$\text{อัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลอน} = 108,518 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

$$\text{อัตราการไหลออกทางด้านล่าง} = (108,518 \times 0.24)$$

$$= 25,644 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

$$\text{อัตราการไหลออกทางด้านบน} = 82,874 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 & \text{ปริมาณสลัดจ์ที่เหลือจากการผ่านไฮโดรไซโคลน (ทางออกด้านบน)} \\
 & = (28 \times 82,874)/1000 \\
 & = 2,320.47 \text{ กก./วัน} \\
 & = 2.32 \text{ ตัน/วัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา} \\
 & = \text{สลัดจ์}_{\text{ระบบผลิตน้ำประปา}} - \text{สลัดจ์}_{\text{ไฮโดรไซโคลน}} \\
 & = 3.69 - 2.32 \\
 & = 1.37 \text{ ตันต่อวัน}
 \end{aligned}$$

จากการสอบถามข้อมูลราคาค่ากำจัดตะกอนจากบริษัท General Environmental Conservation Public Co., LTD (ฝ่ายประชาสัมพันธ์ของบริษัท Gengo, 2550) พบว่า การกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปาธรรมดาที่เกิดขึ้นนั้น เสียค่ากำจัดตะกอนประมาณ 3,000 บาทต่อตัน

$$\begin{aligned}
 & \text{ดังนั้นสามารถลดค่ากำจัดตะกอนลงได้} \\
 & = 3,000 * 1.37 \\
 & = 4,110 \text{ บาทต่อวัน}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์ (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) สามารถลดปริมาณสลัดจ์ลงได้

$$\begin{aligned}
 & = \frac{3.69 - 2.32}{3.69} \times 100 \\
 & = 37.13 \text{ เปอร์เซ็นต์ต่อวัน}
 \end{aligned}$$

2. ไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริตพอท

จากการสอบถามที่โรงกรองน้ำสามเสน 2 พบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคม 2550 มีอัตราการไหลเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาประมาณ 91,312 ลบ.ม./วัน และมีความเข้มข้นสารแขวนลอย 64 มก./ล

ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์ (สถานีสูบน้ำดิบสำแล) และจากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นสารแขวนลอยที่ไหลออกทางด้านบน 52 มก./ล ที่เวลาเก็บกักตะกอน 600 นาที

- ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสลัดจ์ที่ถูกกำจัดโดยการทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดา (สมมติ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย 100 เปอร์เซ็นต์)} &= (64 \times 91,312)/1000 \\
 &= 5,843.96 \text{ กก./วัน} \\
 &= 5.84 \text{ ตัน/วัน}
 \end{aligned}$$

- จากการทดลองเปรียบเทียบเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนการแบ่งอัตราการไหล (Flow Split Ratio) มีค่าเท่ากับ 0.20 ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลน} &= 91,312 \text{ ลบ.ม./วัน} \\
 \text{อัตราการไหลออกทางด้านล่าง} &= 91,312 \times 0.20 \\
 &= 18,625 \text{ ลบ.ม./วัน} \\
 &= 0.22 \text{ ลบ.ม./วินาที} \\
 \text{อัตราการไหลออกทางด้านบน} &= 72,688 \text{ ลบ.ม./วัน}
 \end{aligned}$$

ที่ทางออกด้านล่างเปิดวาล์ว 10 วินาทีต่อ 1 ครั้งการทดลอง ซึ่ง 1 ครั้งการทดลองมี 600 นาที ดังนั้น ใน 1 วันจะมี 2 ครั้งการทดลอง ดังนั้นที่อัตราการไหลออกด้านล่าง 0.216 ลบ.ม./วินาที จะเท่ากับ 4 ลบ.ม./วัน/ครั้งการทดลอง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสลัดจ์ที่เหลือจากการผ่านไฮโดรไซโคลน} &= [52 \times (91,312-4)]/1000 \\
 &= 4,748.01 \text{ กก./วัน} \\
 &= 4.75 \text{ ตัน/วัน}
 \end{aligned}$$

ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

$$\begin{aligned}
 &= \text{สลัดจ์}_{\text{ระบบผลิตน้ำประปา}} - \text{สลัดจ์}_{\text{ไฮโดรไซโคลน}} \\
 &= 5.84 - 4.75 \text{ ตันต่อวัน} \\
 &= 1.09 \text{ ตันต่อวัน}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์

$$\begin{aligned}
 &= 3,000 \times 1.09 \\
 &= 3,275 \text{ บาทต่อวัน}
 \end{aligned}$$

เมื่อทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันนี้กับทุก ๆ กรณีการทดลอง สามารถสรุปค่าต่าง ๆ ได้
 ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (โรงกรองน้ำสามเสน 2)

ค. 1ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริตพอท

ค. 1.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 93,620 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.37

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 36

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 1.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_f / Q_i$
0.5	93,620	22,123	71,497	22	1.57	0.24
1.0	93,620	27,467	66,153	23	1.52	0.29
1.5	93,620	24,354	69,266	23	1.59	0.26
2.0	93,620	22,992	70,628	24	1.70	0.25

ตารางที่ ค. 1.2 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.37	1.57	1.80	5391.23
1.0	3.37	1.52	1.85	5545.44
1.5	3.37	1.59	1.78	5330.64
2.0	3.37	1.70	1.67	5024.78

ค. 1.3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 93,620 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.09

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 33

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 1.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_d/Q_i$
0.5	93,620	13,490	80,130	37	0.50	0.14
1.0	93,620	10,832	82,788	42	0.45	0.12
1.5	93,620	14,707	78,913	53	0.78	0.16
2.0	93,620	16,456	77,164	84	1.38	0.18

ตารางที่ 1.6 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.09	2.16	0.93	2779.46
1.0	3.09	2.32	0.77	2315.81
1.5	3.09	2.13	0.96	2878.06
2.0	3.09	1.85	1.24	3714.20

ค. 1.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 107,376 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 2.58

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 24

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 1.9 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_f/Q_i$
0.5	107,376	20,743	86,633	22	1.91	0.19
1.0	107,376	16,321	91,055	21	1.91	0.15
1.5	107,376	17,715	89,661	24	2.15	0.16
2.0	107,376	17,218	90,158	23	2.07	0.16

ตารางที่ ค. 1.10 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	2.58	1.91	0.67	2022.23
1.0	2.58	1.91	0.67	2003.54
1.5	2.58	2.15	0.43	1284.42
2.0	2.58	2.07	0.51	1519.08

ค. 1.6 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 107,376 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.33

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ลิ) = 31

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 1.11 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ลิ)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_b/Q_t$
0.5	107,376	18,758	88,618	25	2.22	0.17
1.0	107,376	17,522	89,854	28	2.52	0.16
1.5	107,376	12,611	94,765	26	2.46	0.12
2.0	107,376	9,026	98,350	26	2.56	0.08

ตารางที่ ค. 1.12 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.33	2.22	1.11	3343.68
1.0	3.33	2.52	0.81	2442.23
1.5	3.33	2.46	0.87	2598.35
2.0	3.33	2.56	0.77	2318.69

ค. 1.7 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 107,376 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.22

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 30

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 1.13 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_1=Q_u/Q_f$
0.5	107,376	12,072	95,304	28	2.67	0.11
1.0	107,376	9,761	97,615	28	2.73	0.09
1.5	107,376	13,552	93,824	28	2.63	0.13
2.0	107,376	7,864	99,512	26	2.59	0.07

ตารางที่ ค. 1.14 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.22	2.67	0.55	1654.45
1.0	3.22	2.73	0.49	1460.38
1.5	3.22	2.63	0.59	1778.81
2.0	3.22	2.59	0.63	1898.08

ค. 2.2 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 109,267 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 2.84

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 26

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_t=Q_u/Q_d$
70	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
110	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
180	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
270	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
480	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
780	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
1200	109,267	20,544	88,723	21	2.29	0.19
1500	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
2400	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19
3000	109,267	20,544	88,723	22	2.40	0.19

ตารางที่ ค. 2.4 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	2.84	2.40	0.44	1308.38
110	2.84	2.40	0.44	1308.38
180	2.84	2.40	0.44	1308.38
270	2.84	2.40	0.44	1308.38
480	2.84	2.40	0.44	1308.38
780	2.84	2.40	0.44	1308.38
1200	2.84	2.29	0.55	1636.18
1500	2.84	2.40	0.44	1308.38
2400	2.84	2.40	0.44	1308.38

ตารางที่ ค. 2.3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 109,267 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 2.73

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 25

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_d/Q_i$
70	109,267	20,118	89,149	21	2.29	0.18
110	109,267	20,118	89,149	22	2.40	0.18
180	109,267	20,118	89,149	21	2.29	0.18
270	109,267	20,118	89,149	20	2.19	0.18
480	109,267	20,118	89,149	19	2.08	0.18
780	109,267	20,118	89,149	21	2.29	0.18
1200	109,267	20,118	89,149	22	2.40	0.18
1500	109,267	20,118	89,149	22	2.40	0.18
2400	109,267	20,118	89,149	22	2.40	0.18
3000	109,267	20,118	89,149	22	2.40	0.18

ตารางที่ ค. 2.6 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	2.73	2.29	0.44	1306.18
110	2.73	2.40	0.33	978.38
180	2.73	2.29	0.44	1306.18
270	2.73	2.19	0.54	1633.98
480	2.73	2.08	0.65	1961.78
780	2.73	2.29	0.44	1306.18
1200	2.73	2.40	0.33	978.38
1500	2.73	2.40	0.33	978.38
2400	2.73	2.40	0.33	978.38

ค. 2.4 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน) = 109,267 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 2.95

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก./ล) = 27

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.7 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก./ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_f/Q_i$
70	109,267	22,013	87,254	23	2.51	0.20
110	109,267	22,013	87,254	26	2.84	0.20
180	109,267	22,013	87,254	24	2.62	0.20
270	109,267	22,013	87,254	26	2.84	0.20
480	109,267	22,013	87,254	27	2.95	0.20
780	109,267	22,013	87,254	20	2.19	0.20
1200	109,267	22,013	87,254	24	2.62	0.20
2400	109,267	22,013	87,254	21	2.29	0.20
3000	109,267	22,013	87,254	22	2.40	0.20

ตารางที่ ค. 2.8 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	2.95	2.51	0.44	1310.58
110	2.95	2.84	0.11	327.17
180	2.95	2.62	0.33	982.78
270	2.95	2.84	0.11	327.17
780	2.95	2.19	0.76	2293.98
1200	2.95	2.62	0.33	982.78
2400	2.95	2.29	0.66	1966.18
3000	2.95	2.40	0.55	1638.38

ค. 2.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 107,376 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.76

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 35

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.9 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_s=Q_s/Q_i$
70	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26
110	107,376	27,882	79,494	25	2.68	0.26
180	107,376	27,882	79,494	24	2.58	0.26
270	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26
480	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26
780	107,376	27,882	79,494	22	2.36	0.26
1200	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26
1500	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26
2400	107,376	27,882	79,494	22	2.36	0.26
3000	107,376	27,882	79,494	23	2.47	0.26

ตารางที่ ค. 2.10 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	3.76	2.47	1.29	3871.06
110	3.76	2.68	1.08	3226.80
180	3.76	2.58	1.18	3548.93
270	3.76	2.47	1.29	3871.06
480	3.76	2.47	1.29	3871.06
780	3.76	2.36	1.40	4193.18
1200	3.76	2.47	1.29	3871.06
1500	3.76	2.47	1.29	3871.06
2400	3.76	2.36	1.40	4193.18
3000	3.76	2.47	1.29	3871.06

ค. 2.6 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 107,376 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.87

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 36

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.11 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการ ไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้น สารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_u/Q_i$
70	107,376	27,791	79,585	24	2.58	0.26
110	107,376	27,791	79,585	23	2.47	0.26
180	107,376	27,791	79,585	21	2.25	0.26
270	107,376	27,791	79,585	24	2.58	0.26
480	107,376	27,791	79,585	24	2.58	0.26
780	107,376	27,791	79,585	20	2.15	0.26
1200	107,376	27,791	79,585	23	2.47	0.26
1500	107,376	27,791	79,585	22	2.36	0.26
2400	107,376	27,791	79,585	22	2.36	0.26
3000	107,376	27,791	79,585	23	2.47	0.26

ตารางที่ ค. 2.12 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.0 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	3.87	2.58	1.29	3878.93
110	3.87	2.47	1.40	4201.06
180	3.87	2.25	1.62	4845.31
270	3.87	2.58	1.29	3878.93
480	3.87	2.58	1.29	3878.93
780	3.87	2.15	1.72	5167.44
1200	3.87	2.47	1.40	4201.06
1500	3.87	2.36	1.51	4523.18
2400	3.87	2.36	1.51	4523.18
3000	3.87	2.47	1.40	4201.06

ค. 2.7 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.69

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 34

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.13 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_t=Q_u/Q_i$
70	108,518	23,501	85,017	23	2.50	0.22
110	108,518	23,501	85,017	23	2.50	0.22
180	108,518	23,501	85,017	21	2.28	0.22
270	108,518	23,501	85,017	24	2.60	0.22
480	108,518	23,501	85,017	24	2.60	0.22
780	108,518	23,501	85,017	20	2.17	0.22
1200	108,518	23,501	85,017	23	2.50	0.22
1500	108,518	23,501	85,017	22	2.39	0.22
2400	108,518	23,501	85,017	22	2.39	0.22
3000	108,518	23,501	85,017	23	2.50	0.22

ตารางที่ ค. 2.14 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	3.69	2.50	1.19	3582.26
110	3.69	2.50	1.19	3582.26
180	3.69	2.28	1.41	4233.37
270	3.69	2.60	1.09	3256.70
480	3.69	2.60	1.09	3256.70
780	3.69	2.17	1.52	4558.92
1200	3.69	2.50	1.19	3582.26
1500	3.69	2.39	1.30	3907.81
2400	3.69	2.39	1.30	3907.81
3000	3.69	2.50	1.19	3582.26

ค. 2.8 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.80

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 35

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 2.15 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

เวลา (วินาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้น สารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (กก. / วัน)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_t=Q_u/Q_i$
70	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
110	108,518	24,181	84,337	20	2170.4	2.17	0.22
180	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
270	108,518	24,181	84,337	23	2495.9	2.50	0.22
480	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
780	108,518	24,181	84,337	23	2495.9	2.50	0.22
1200	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
1500	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
2400	108,518	24,181	84,337	22	2387.4	2.39	0.22
3000	108,518	24,181	84,337	23	2495.9	2.50	0.22

ตารางที่ ค. 2.16 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความดัน 2.0 บาร์

เวลา (วินาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
70	3.80	2.39	1.41	4237.81
110	3.80	2.17	1.63	4888.92
180	3.80	2.39	1.41	4237.81
270	3.80	2.50	1.30	3912.26
480	3.80	2.39	1.41	4237.81
780	3.80	2.50	1.30	3912.26
1200	3.80	2.39	1.41	4237.81
1500	3.80	2.39	1.41	4237.81
2400	3.80	2.39	1.41	4237.81
3000	3.80	2.50	1.30	3912.26

ค. 3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ค. 3.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.69

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 34

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 12 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_p = Q_p/Q_i$
0.5	108,518	25,644	82,874	28	2.32	0.24
1.0	108,518	31,838	76,680	28	2.15	0.29
1.5	108,518	28,229	80,289	29	2.33	0.26
2.0	108,518	26,651	81,867	27	2.21	0.25

ตารางที่ ค. 3.2 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.69	2.32	1.37	4108.59
1.0	3.69	2.15	1.54	4628.81
1.5	3.69	2.33	1.36	4084.76
2.0	3.69	2.21	1.48	4438.57

ค. 3.2 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.58

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 33

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_u / Q_f$
0.5	108,518	22,134	86,384	28	2.42	0.20
1.0	108,518	20,403	88,115	28	2.47	0.19
1.5	108,518	19,981	88,537	27	2.39	0.18
2.0	108,518	21,862	86,656	27	2.34	0.20

ตารางที่ ค. 3.4 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.58	2.42	1.16	3483.74
1.0	3.58	2.47	1.11	3338.29
1.5	3.58	2.39	1.19	3568.33
2.0	3.58	2.34	1.24	3720.67

ค. 3.3 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 2.71

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 25

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 8 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_u / Q_f$
0.5	108,518	15,637	92,881	24	2.23	0.14
1.0	108,518	12,556	95,962	25	2.40	0.12
1.5	108,518	17,048	91,470	28	2.56	0.16
2.0	108,518	19,075	89,443	29	2.59	0.18

ตารางที่ ค. 3.6 ค่าก่าจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	2.71	2.23	0.48	1442.54
1.0	2.71	2.40	0.31	932.84
1.5	2.71	2.56	0.15	446.49
2.0	2.71	2.59	0.12	348.44

ค. 3.4 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 4.67

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ลิ) = 43

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.7 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ลิ)	ปริมาณสลัดจ์ (กก. / วัน)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_f / Q_i$
0.5	108,518	28,179	80,339	34	2731.54	2.73	0.26
1.0	108,518	28,087	80,431	34	2734.65	2.73	0.26
1.5	108,518	23,501	85,017	32	2720.55	2.72	0.22
2.0	108,518	24,181	84,337	38	3204.82	3.20	0.22

ตารางที่ ค. 3.8 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	4.67	2.73	1.94	5815.39
1.0	4.67	2.73	1.94	5806.04
1.5	4.67	2.72	1.95	5848.34
2.0	4.67	3.20	1.47	4395.54

ตารางที่ ค. 3.5 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 4.45

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 41

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.9 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (กก. / วัน)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_u/Q_f$
0.5	108,518	20,964	87,554	34	2976.85	2.98	0.19
1.0	108,518	16,495	92,023	36	3312.84	3.31	0.15
1.5	108,518	17,904	90,614	35	3171.50	3.17	0.16
2.0	108,518	17,401	91,117	34	3097.98	3.10	0.16

ตารางที่ ค. 3.10 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 9 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	4.45	2.98	1.47	4419.46
1.0	4.45	3.31	1.14	3411.49
1.5	4.45	3.17	1.28	3835.49
2.0	4.45	3.10	1.35	4056.05

ค. 3.6 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.91

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 36

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.11 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (กก. / วัน)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_u/Q_f$
0.5	108,518	18,958	89,560	35	3134.60	3.13	0.17
1.0	108,518	17,708	90,810	32	2905.92	2.91	0.16
1.5	108,518	12,745	95,773	33	3160.50	3.16	0.12
2.0	108,518	9,122	99,396	31	3081.28	3.08	0.08

ตารางที่ ค. 3.12 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 6 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.91	3.13	0.78	2326.20
1.0	3.91	2.91	1.00	3012.24
1.5	3.91	3.16	0.75	2248.51
2.0	3.91	3.08	0.83	2486.15

ค. 3.7 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 108,518 ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน) = 3.80

ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล) = 35

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 3.13 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหลออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสารแขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณสลัดจ์ (กก. / วัน)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f = Q_u / Q_f$
0.5	108,518	12,200	96,318	33	3178.49	3.18	0.11
1.0	108,518	9,865	98,653	36	3551.50	3.55	0.09
1.5	108,518	13,696	94,822	28	2655.00	2.66	0.13
2.0	108,518	7,948	100,570	28	2815.97	2.82	0.07

ตารางที่ ค. 3.14 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทางออกด้านล่าง 4 มิลลิเมตร

ความดัน (บาร์)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำในปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำติดตั้งไฮโดรไซโคลน		
0.5	3.80	3.18	0.62	1864.54
1.0	3.80	3.55	0.25	745.51
1.5	3.80	2.66	1.14	3434.99
2.0	3.80	2.82	0.98	2952.10

ค. 4 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลน ที่ติดตั้งกริตพอท (สถานีสูบน้ำดิบสำแล)

ค. 4.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม. / วัน) = 91,312 ปริมาณสลัดจ์เฉลี่ย (ตัน / วัน) = 4.06

ความเข้มข้นสารแขวนลอยเฉลี่ย (มก. / ล) = 44.5

เมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ตารางที่ ค. 4.1 ปริมาณตะกอนที่แยกได้ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

เวลา (นาที)	อัตราการไหล เข้า (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านล่าง (ลบ.ม./วัน)	อัตราการไหล ออกด้านบน (ลบ.ม./วัน)	ความเข้มข้นสาร แขวนลอย (มก. / ล)	ปริมาณ สลัดจ์ (ตัน / วัน)	$R_f=Q_u/Q_i$
60	91,312	18,625	72,688	18	1.64	0.20
120	91,312	18,625	72,688	25	2.28	0.20
180	91,312	18,625	72,688	27	2.47	0.20
240	91,312	18,625	72,688	26	2.37	0.20
300	91,312	18,625	72,688	22	2.01	0.20
360	91,312	18,625	72,688	20	1.83	0.20
420	91,312	18,625	72,688	24	2.19	0.20
480	91,312	18,625	72,688	27	2.47	0.20
600	91,312	18,625	72,688	52	4.75	0.20

ตารางที่ ค. 4.2 ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ลดลงได้ด้วยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความดัน 0.5 บาร์

เวลา (นาที)	ปริมาณสลัดจ์ (ตัน / วัน)		ปริมาณสลัดจ์ ที่ลดลง (ตัน / วัน)	จำนวนเงิน (บาทต่อตัน)
	ระบบผลิตน้ำใน ปัจจุบัน	ระบบผลิตน้ำ ติดตั้ง ไฮโดรไซโคลน		
60	3.65	1.64	2.01	6019.14
120	3.65	2.28	1.37	4101.58
180	3.65	2.47	1.18	3553.71
240	3.65	2.37	1.28	3827.65
300	3.65	2.01	1.64	4923.39
360	3.65	1.83	1.82	5471.27
420	3.65	2.19	1.46	4375.52
480	3.65	2.47	1.18	3553.71
600	5.84	4.75	1.09	3275.29

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอ้อทิพย์ จีระพรชัย เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อ พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2548