

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ติดตั้งกริฟฟอด โดยไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ขนาด คือ 75 50 และ 10 มิลลิเมตร นำมาจัดเรียงกันแบบอนุกรมแบ่งเป็น 3 ชุด คือ ชุดแรก 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 75 และ 50 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 50 และ 10 มิลลิเมตร ส่วนที่สองทำการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอด โดยติดตั้งกริฟฟอดที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนทุกขนาด และจัดเรียงชุดการทดลองเช่นเดียวกับในส่วนแรก ซึ่งทั้งสองส่วนการทดลองนั้นแปรผันความดันจ่ายเข้า 4 ค่า ระหว่าง 0.5 - 3 บาร์ สำหรับส่วนการทดลองที่ติดตั้งกริฟฟอดนั้นจะใช้เวลาในการดำเนินการของกริฟฟอด ระหว่าง 30 - 360 นาที

ในการดำเนินการทดลอง ทำการเดินระบบแบบเปิดในสถานที่จริง คือ สูบน้ำดิบจริงจากท่อส่งน้ำดิบในสถานีสูบน้ำดิบสำแล สูบเข้าสู่ถังเก็บน้ำในโรงงานนำร่อง (Pilot plant) และไหลล้นออกตลอดเวลาที่ดำเนินการทดลอง เพื่อให้น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวแทนจริงของน้ำดิบนั้นๆ

สำหรับการเก็บตัวอย่างสำหรับการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ติดตั้งกริฟฟอด ตำแหน่งการเก็บน้ำดิบสามารถเก็บที่ท่อสำหรับการไหลอ้อม (by pass) ส่วนตำแหน่งในการเก็บน้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนอีก 2 แห่ง คือ น้ำตัวอย่างที่ผ่านไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านล่าง (Underflow) และทางออกด้านบน (Overflow) สามารถเก็บได้โดยตรงจากท่อน้ำสำหรับทางออกด้านล่างและทางออกด้านบนที่ต่อออกนอกถังเก็บน้ำพลาสติก ซึ่งการต่อท่อน้ำที่ไหลออกนอกถังเก็บน้ำพลาสติกทั้งสองทางนั้น เพื่อป้องกันน้ำไหลวนกลับเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน

ในส่วนของการทดลองด้วยการจัดเรียงแบบอนุกรมของไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริฟฟอดนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างของน้ำดิบและน้ำตัวอย่างที่ไหลออกทางด้านบนเช่นเดียวกับไฮโดรไซโคลนแบบธรรมดา ส่วนน้ำตัวอย่างที่สะสมอยู่ในกริฟฟอดนั้นสามารถเก็บได้โดยตรงจากวาล์วน้ำทิ้งของกริฟฟอด ซึ่งจะเก็บตามเวลาที่ใช้ในการดำเนินการของกริฟฟอดที่กำหนดไว้ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2

หลังจากนั้น นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์ผลที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดพารามิเตอร์ ดังนี้ คือ ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย ความขุ่น และขนาดอนุภาคทั้งก่อนและหลังเข้าไฮโดรไซโคลน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ผู้วิจัยนำเสนอออกมาด้วยกัน 6 หัวข้อหลัก คือ ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของไฮโดรไซโคลน มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของไฮโดรไซโคลน ปริมาณสลัดจ์และค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ลดลงเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนก่อนจ่ายเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา และขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลน

4.1 ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด จะแสดงผลในรูปของความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) และประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอย (Solid Separation Efficiency)

4.1.1 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้

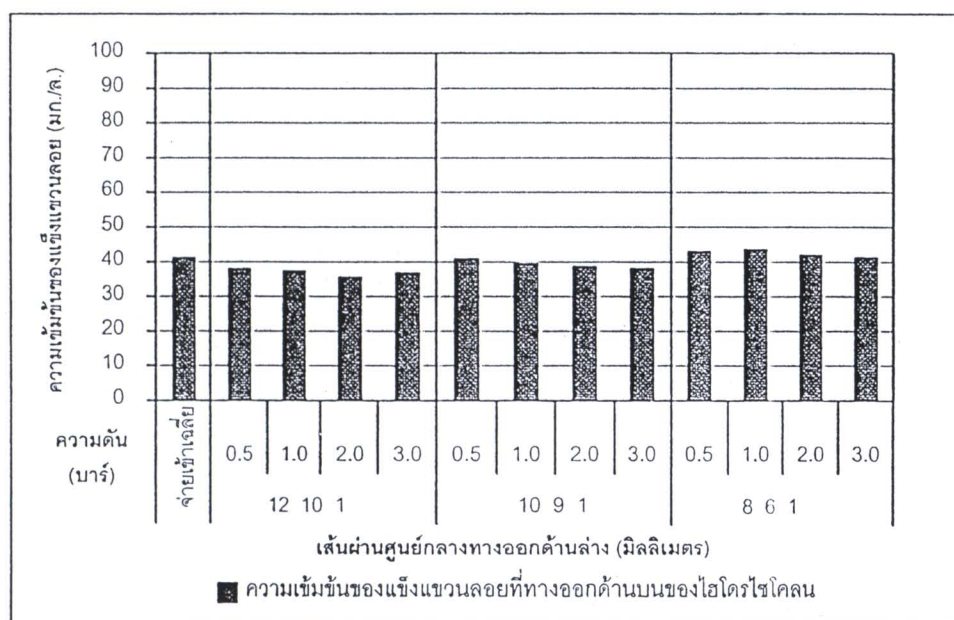
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำดิบจริงทุกการทดลอง ดังนั้นความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนในแต่ละการทดลองจะมีค่าแตกต่างกันตามความเข้มข้นและสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ของน้ำดิบจริงในขณะนั้นๆ

จากผลการทดลองความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด พบว่า ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ได้จากน้ำตัวอย่างที่ทางออกด้านบนจะมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่จ่ายเข้าและทางออกด้านล่าง และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างสูงกว่าที่ทางออกด้านบนไม่มากนัก โดยจะแสดงผลในหัวข้อต่อไป

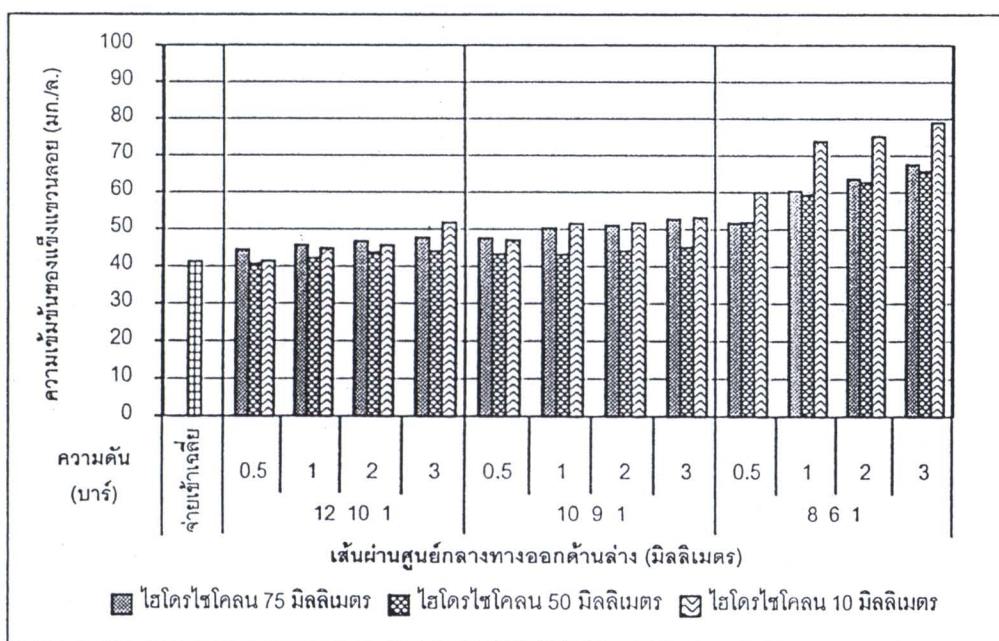
4.1.1.1 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 3 ชุดการทดลองคือ ชุดแรก 12 10 และ 1 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 10 9 และ 1 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 8 6 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งสามชุดการทดลองใช้ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) โดยมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้าเฉลี่ย 41.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 36 - 43 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็ง

แขวนลอยที่ทางออกด้านล่างที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 45 - 68 มิลลิกรัมต่อลิตร ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 41 - 66 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 42 - 79 มิลลิกรัมต่อลิตร



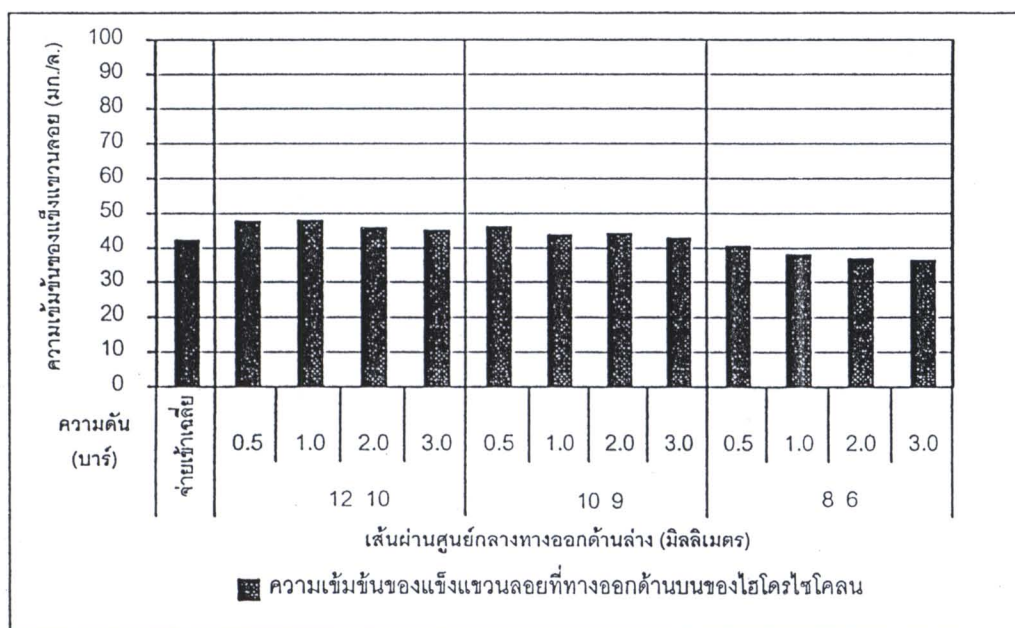
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกรรพอด



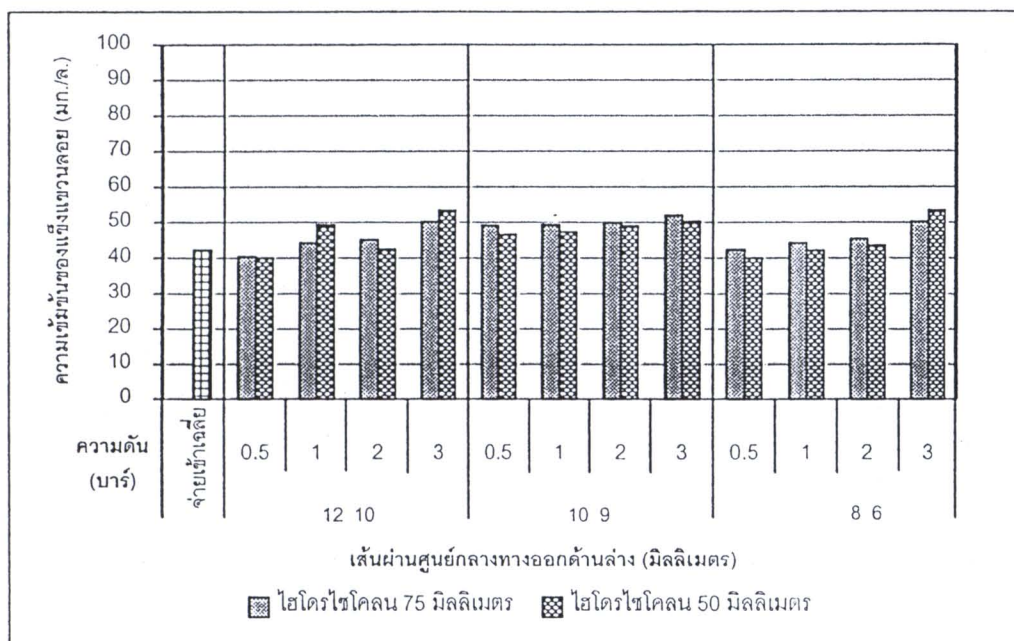
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกรรพอด

4.1.1.2 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 3 ชุดการทดลองคือ ชุดแรก 12 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 10 และ 9 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 8 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งสามชุดการทดลองใช้ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) โดยมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้าเฉลี่ย 42.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 36 - 48 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 43 - 54 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 40 - 54 มิลลิกรัมต่อลิตร



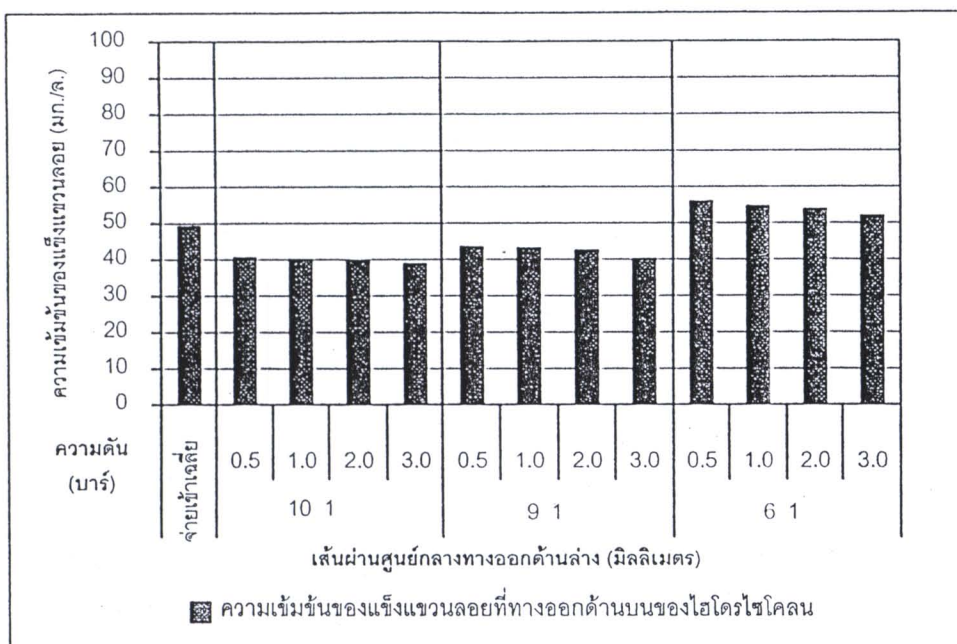
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกรรพอด



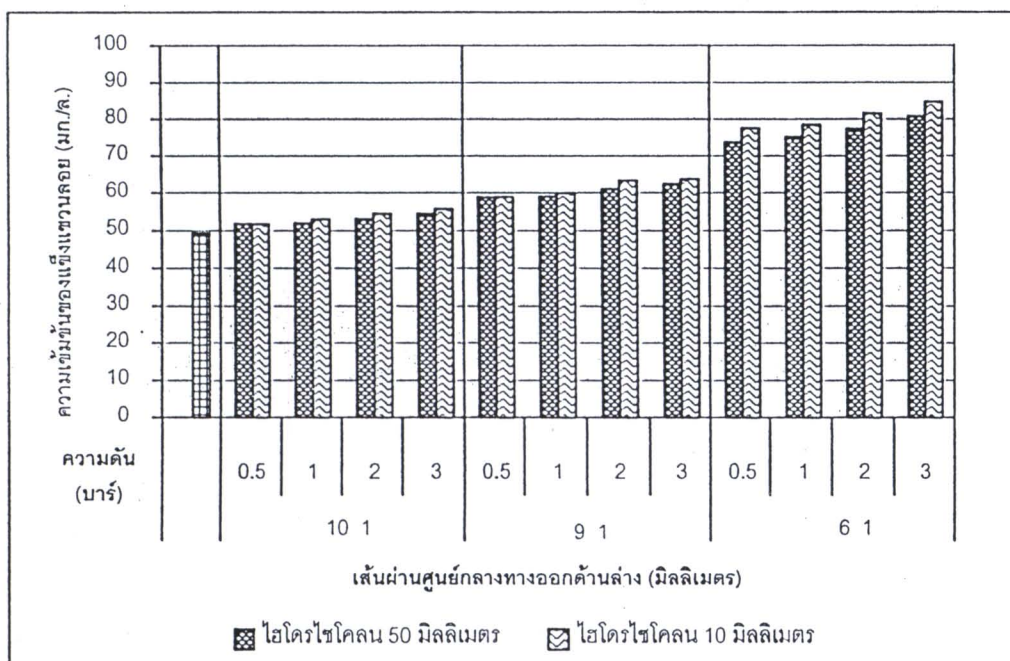
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านล่างของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด

4.1.1.3 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 3 ชุดการทดลองคือ ชุดแรก 10 และ 1 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 9 และ 1 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 6 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งสามชุดการทดลองใช้ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) โดยมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้าเฉลี่ย 49.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 39 - 56 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างที่ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 52 - 81 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 52 - 85 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของแรงเฉือนลอยที่ออกทางด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของแรงเฉือนลอยที่ออกทางด้านล่างของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด

จากการทดลอง พบว่า การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมโดยเริ่มจากไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ก่อนไปสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก สามารถป้องกันการเกิดการอุดตันที่ช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่คือ ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร จะแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกได้เกือบทั้งหมด และเมื่อมาถึงไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก ซึ่งก็คือไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จะเหลือแค่อนุภาคขนาดเล็ก ทำให้สามารถแยกอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เหลือได้โดยไม่เกิดการอุดตันที่ช่องทางออกด้านล่าง ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไปในหัวข้อที่ 4.7 นอกจากนี้ จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร สามารถแยกความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร เนื่องจากอนุภาคที่จ่ายเข้าที่มีขนาดใหญ่จะถูกแยกออกหมดในไฮโดรไซโคลนขนาด 75 มิลลิเมตร ทำให้ในไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยลดลง อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงความดันจ่ายเข้าในไฮโดรไซโคลนแต่ละตัวแล้ว พบว่ามีค่า ความดันลด ($Head\ loss, h_L$) สูงมาก กล่าวคือ ที่ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 มิลลิเมตร จ่ายความดันจ่ายเข้าตามที่กำหนดไว้ แต่เมื่อมาถึงไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร ค่าความดันจะลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แรงเหวี่ยงภายในไฮโดรไซโคลนลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความดันเมื่อผ่านไฮโดรไซโคลนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอดและที่ติดตั้งกริพพอด ที่ความดัน 1 บาร์

การจัดเรียงไฮโดรไซโคลน แบบอนุกรม ขนาด 75 50 และ 10 มม.	ความดันก่อนเข้าไฮโดรไซโคลนตัวต่อไป (บาร์)		
	HC 75	HC 50	HC 10
ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด	1.0	0.7	0.3
ที่ติดตั้งกริพพอด	1.0	1.0	0.9

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาที่ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ถึงแม้ว่าความดันจ่ายเข้าจะลดลงถึง 57 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ยังสามารถแยกของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องจากการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลง ทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นมากในไฮโดรไซโคลนถูกเหวี่ยงปะทะกับผนังของไฮโดรไซโคลน อนุภาคขนาดใหญ่จึงไหลออกทางด้านล่างได้มากขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของแข็ง

แขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนจึงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Helmholtz's law (Puprasert, 2004) ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยมาก ซึ่งน่าจะส่งผลมากกว่าความดันจ่ายเข้า

4.1.2 ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลน (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.31 ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{จากสมการที่ (2.26) ประสิทธิภาพลด } E'_T = \frac{E_T - R_f}{1 - R_f}$$

$$\text{เมื่อ } E_T = \frac{M_u}{M} = \frac{Q_{u(\text{total})} \cdot C_{u(\text{avg})}}{Q_f C_f} \quad \text{และ} \quad R_f = \frac{Q_{u(\text{total})}}{Q_f}$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (2.26) จะได้ว่า

$$E'_T = \frac{Q_{u(\text{total})} (C_{u(\text{avg})} - C_f)}{Q_o C_f} \times 100 \quad (2.31)$$

จากการคำนวณ พบว่า ในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอตทุกการจัดเรียงมีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยสูงมากกว่า 100% ซึ่งไม่สะท้อนกับความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องจากในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอตมีอัตราการไหลที่ทางออกด้านบนต่ำ และอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างโดยรวมสูงมาก ส่งผลให้อัตราการแบ่งไหล (R_f) มีค่าสูงมากเช่นเดียวกัน ทั้งที่โดยปกติแล้วควรจะมีค่าต่ำ และส่งผลให้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอตให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำเข้า ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยกับประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอต

ความดัน (บาร์)	ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)					R_f	อัตราไหลออกด้านบน (Q_0)	อัตราไหลออกด้านล่างรวม ($Q_{u(\text{total})}$)	ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอย (เปอร์เซ็นต์)
	จ่ายเข้า	ทางออกด้านบน	ทางออกด้านล่าง						
			75	50	10				
0.5	38	38	45	41	42	0.96	0.11	3.24	380.75 *
1.0	38	37	46	43	45	0.95	0.15	4.26	446.16 *
2.0	38	36	47	44	46	0.92	0.17	5.18	581.74 *
3.0	38	37	48	45	52	0.97	0.19	5.90	651.13 *

* ค่าที่ไม่สะท้อนกับความเป็นจริง เนื่องจากมีค่า R_f สูงมาก จึงไม่นำค่าที่ได้นี้มาใช้งานจริง

นอกจากนี้ ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอตยังมีอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่าง โดยเฉพาะไฮโดรไซโคลนตัวแรกจะมีอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างสูงมาก ทำให้น้ำที่ผ่านไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมตัวต่อไปมีอัตราการไหลต่ำลง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 8 6 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)					
	จ่ายเข้า	ทางออก ด้านบน HC 10	ทางออกด้านล่าง			
			HC 75	HC 50	HC 10	รวม
0.5	2.34	0.15	1.57	0.57	0.05	2.19
1.0	3.20	0.17	1.91	0.97	0.13	3.01
2.0	4.10	0.20	2.45	1.20	0.24	3.89
3.0	4.89	0.24	2.75	1.57	0.32	4.64

* ค่าอัตราการไหลที่ได้ มาจากการวัดจริง ทำให้มีความคลาดเคลื่อนอยู่เล็กน้อย

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่างโดยรวมมีค่ามากกว่าที่ทางออกด้านบนโดยเฉลี่ยประมาณ 18 เท่า แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ผ่านไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอตโดยส่วนใหญ่จะออกที่ทางออกด้านล่าง ส่งผลให้อัตราไหลออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนขนาด 75 มิลลิเมตร (ซึ่งก็คืออัตราการไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร) และอัตราการไหลออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร (ซึ่งก็คืออัตราการไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร) มีค่าลดลงเป็นอย่างมากตามลำดับ โดยผลของการที่อัตราการไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนดังกล่าวลดลง ทำให้ความดันไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งความดันที่ต่ำลงดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยต่ำลงมากไปด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลให้น้ำที่ไหลออกที่ทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลน 10 มิลลิเมตร มีปริมาณน้อยมากอีกด้วย

ตารางที่ 4.4 ความดันลดของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 86 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความดันจ่ายเข้า(บาร์)	ความดันก่อนเข้าไฮโดรไซโคลนตัวต่อไป (บาร์)	
	ก่อนเข้า HC 50	ก่อนเข้า HC 10
0.5	0.40	0.10
1.0	0.80	0.50
2.0	1.60	1.00
3.0	2.50	1.60

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอตที่นำมาใช้บำบัดน้ำดิบในงานวิจัยนี้ไม่เหมาะสมที่จะไปใช้ในงานจริง ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงอีกในหัวข้อต่อไป

4.2 ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต

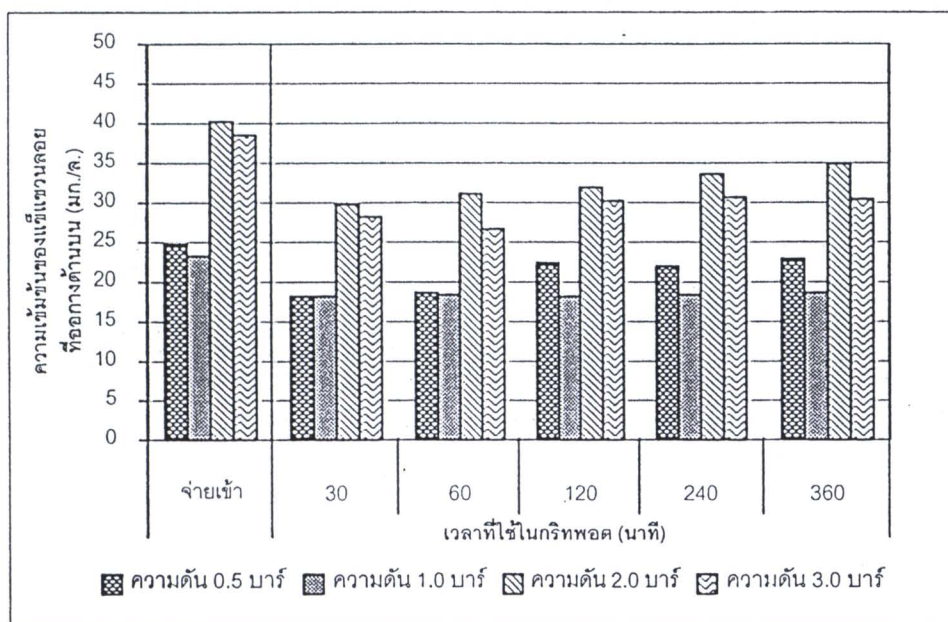
ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริฟฟอต จะแสดงผลในรูปของความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) และประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอย (Solid Separation Efficiency) เช่นกัน

4.2.1 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้

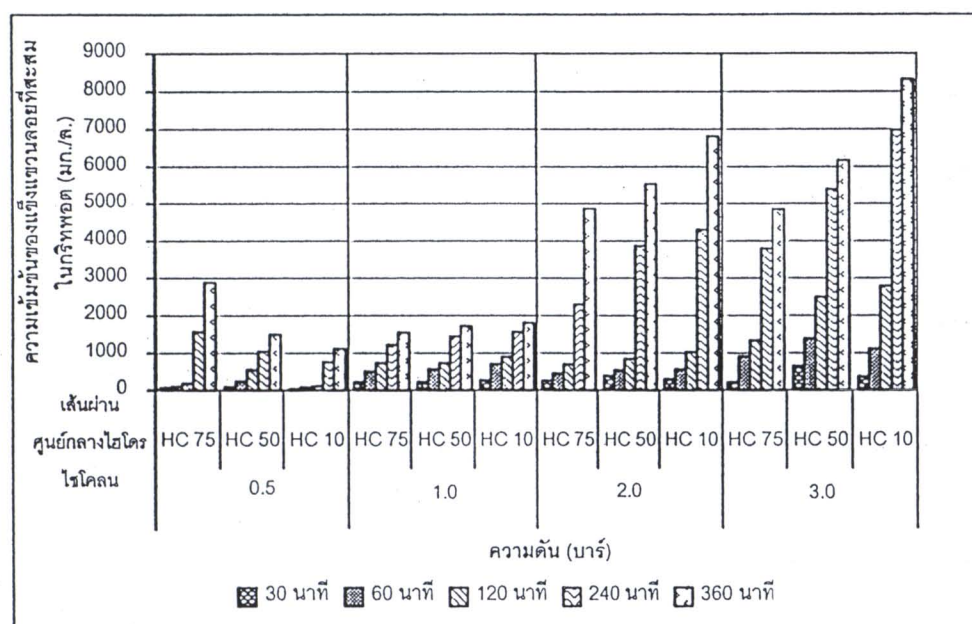
4.2.1.1 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต โดยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร และโดยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 1 มิลลิเมตร ที่ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 (รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 31.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 18 - 35 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริฟฟอตของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 85 - 4,861

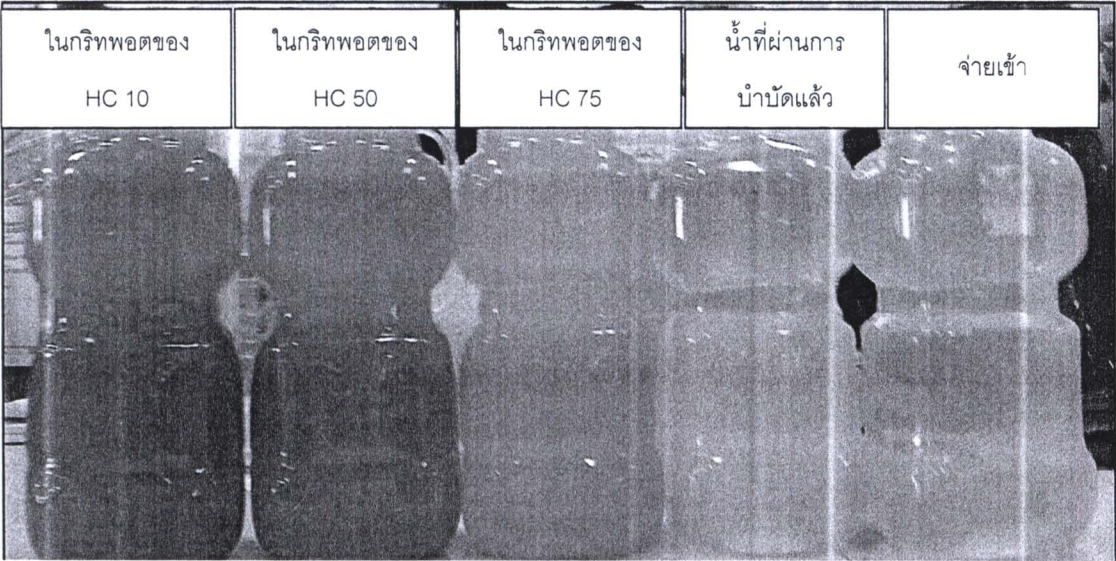
มิลลิกรัมต่อลิตร ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 97 - 6,180 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 40 - 8,331 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพอด



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพอดของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพอด



รูปที่ 4.9 ลักษณะน้ำตัวอย่างจาก 5 ช่องทางการไหลของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 3 บาร์
ใช้เวลาในกริทพอด 240 นาที

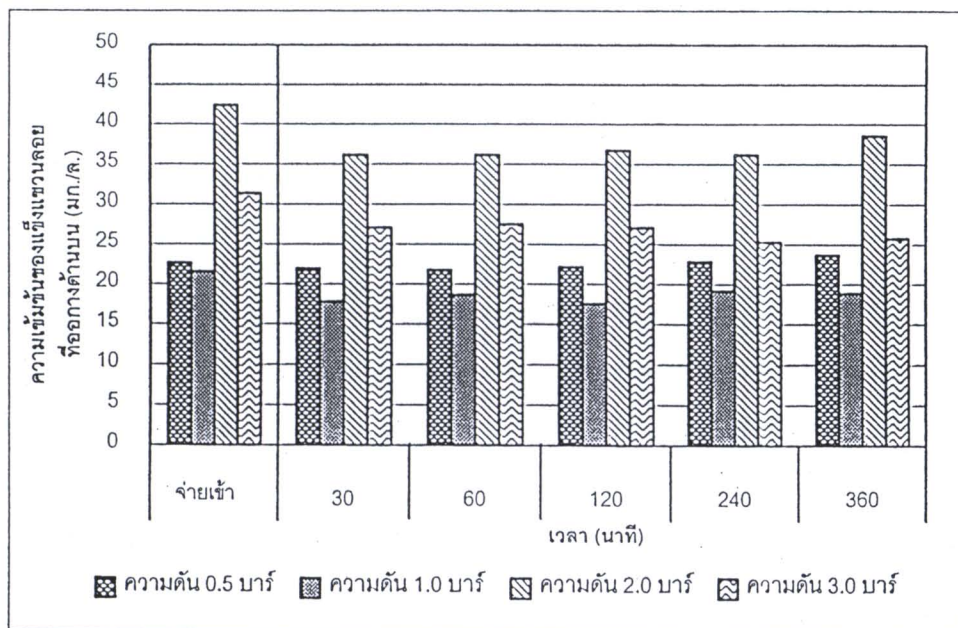
รูปที่ 4.9 แสดงถึงลักษณะน้ำตัวอย่างจาก 5 ช่องทางการไหลของไฮโดรไซโคลน ซึ่งภายใน
มีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริทพอด จะเห็นว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีความขุ่นมากที่สุด ดังตารางที่ 4.5 ตามด้วยไฮโดรไซโคลนขนาด 50
และ 75 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ความขุ่นของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ

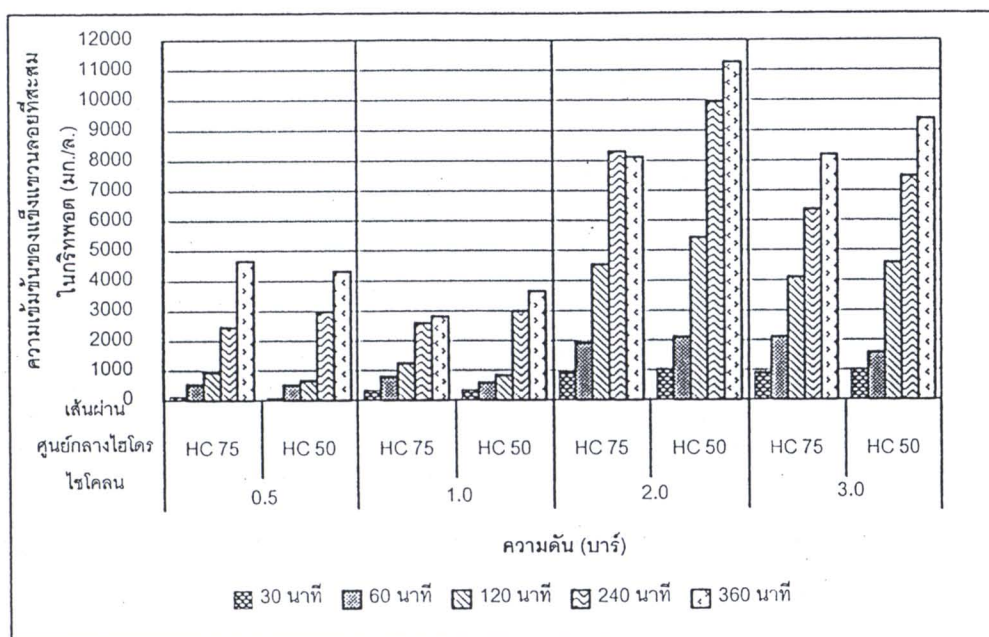
ความดัน จ่ายเข้า (บาร์)	เวลาที่ใช้ ในกริทพอด (นาที)	ความขุ่นของแข็งแขวนลอย (เอ็นทียู)				
		จ่ายเข้า	ทางออก ด้านบน	ทางออกด้านล่าง (สะสมในกริทพอด)		
				HC 75	HC 50	HC 10
3.0	30	40	39	44	51	57
	60	40	37	52	61	75
	120	43	41	56	71	94
	240	43	42	59	83	200
	360	43	42	63	86	230

4.2.1.2 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพอด โดยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร ที่ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 (รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 32.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 18 - 55 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพอดของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 18 - 8,301 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 91 - 11,271 มิลลิกรัมต่อลิตร



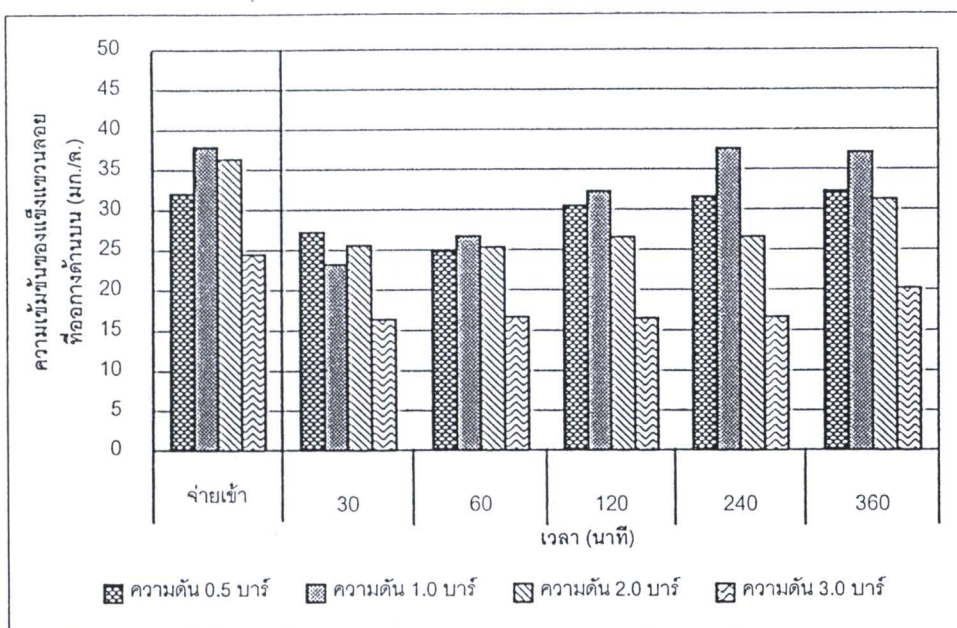
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพอด



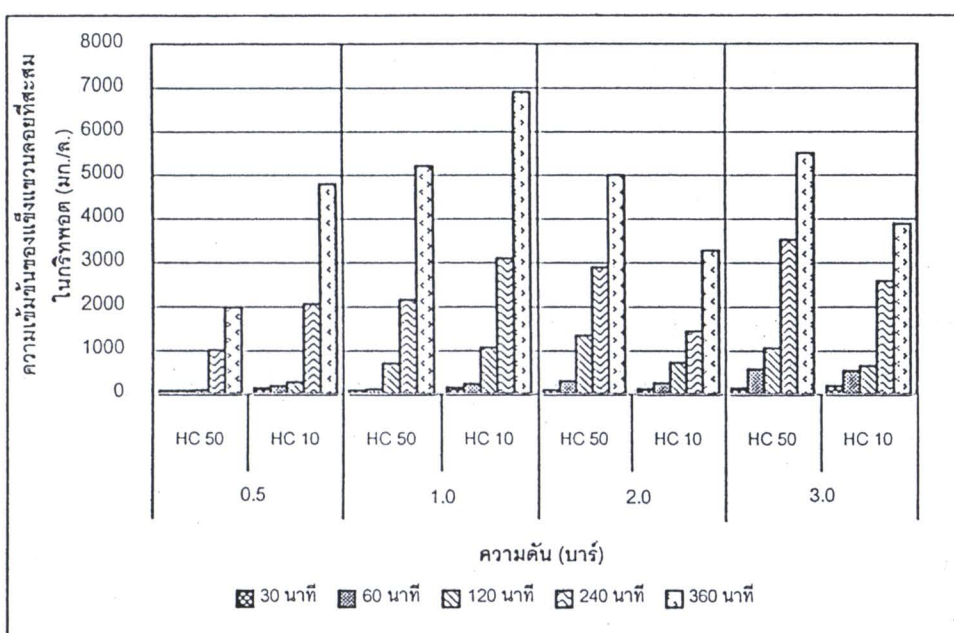
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

4.2.1.3 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด โดยไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 10 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 1 มิลลิเมตร ที่ความดันจ่ายเข้า 0.5 1 2 และ 3 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 (รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 32.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 16 - 38 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดของไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 81 - 5,520 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่เวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 155 - 6,917 มิลลิกรัมต่อลิตร



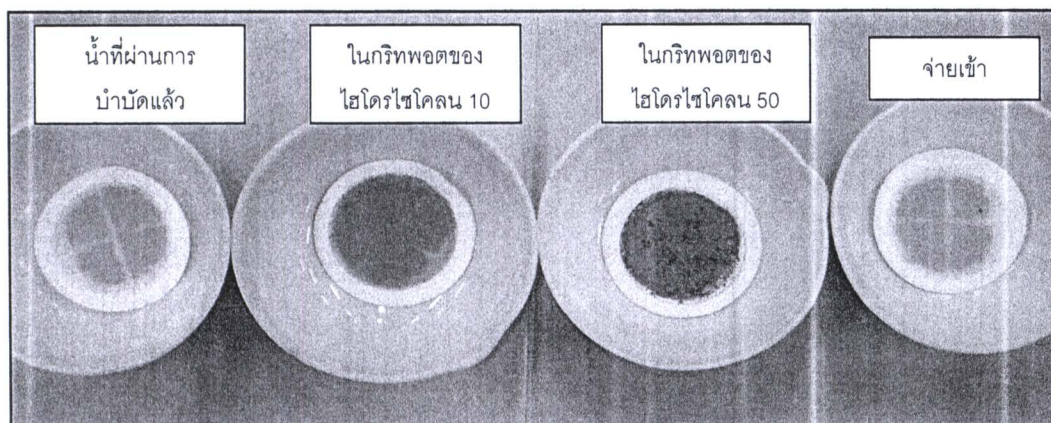
รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกทางด้านบนของการจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริทพอดของการจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนของไฮโดรไฮโคลนพบว่า ความเข้มข้นในแต่ละการจัดเรียงของการจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมทั้ง 3 แบบ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม การจัดเรียงไฮโดรไฮโคลนแบบอนุกรมทุกการจัดเรียง

ที่ติดตั้งกริพพอด จะทำให้ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่ภายในกริพพอดมีค่ามากกว่าที่ทางออกด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นข้อดีของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดที่ทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอนขนาดเล็ก ช่วยทำให้ความเข้มข้นของน้ำออกที่ช่องทางออกด้านล่างมีค่าสูงขึ้นมาก



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยทุกเส้นทางการไหลของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

ในการจัดเรียงแบบอนุกรมทั้ง 3 แบบนี้ จะให้ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่ในกริพพอดเข้มข้นมากขึ้นตามระยะเวลาดำเนินการในกริพพอดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดจะไม่มีน้ำไหลออกที่ทางออกด้านล่าง ซึ่งตะกอนจะเก็บสะสมตัวอยู่ภายในกริพพอด ทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นมากขึ้น

ในการจัดเรียงแบบอนุกรมจากไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร) ไปสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) เนื่องจากในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เป็นไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก จึงทำการจัดเรียงแบบอนุกรมเช่นนี้เพื่อป้องกันการอุดตันที่อาจจะเกิดขึ้นภายในไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดใหญ่ สามารถแยกเอาของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกได้ โดยจะมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร มีความเข้มข้นมากที่สุด เนื่องจากเป็นไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก จึงมีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยสูง จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร มีของแข็งแขวนลอยที่ตกค้างอยู่บนกระดาด مخروطขนาดใหญ่กว่าไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร โดยรายละเอียดเรื่องขนาดอนุภาคจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.2.2 ประสิทธิภาพในการการแยกของแข็งแขวนลอย

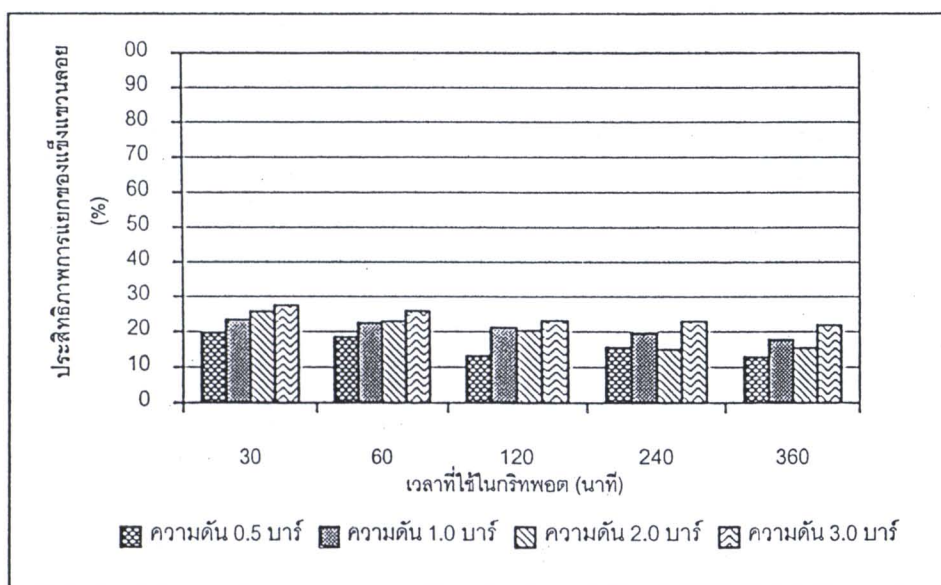
ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริพพอดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.34 ดังสมการต่อไปนี้

$$E_T = \frac{Q_f C_f T - Q_o C_o T}{Q_f C_f T} \times 100 \quad (2.34)$$

โดย T คือ เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริพพอด

4.2.2.1 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

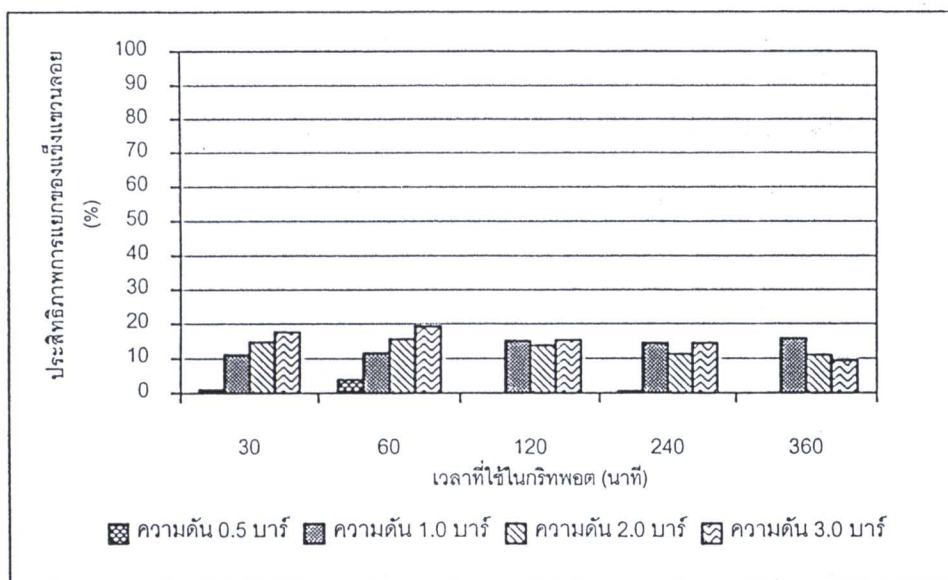
เมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด ดังสมการที่ 2.34 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด มีค่าอยู่ระหว่าง 12.90 - 27.44 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20.21 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 27.44 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ดำเนินการในกริพพอด 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ติดตั้งกริพพอด

4.2.2.2 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

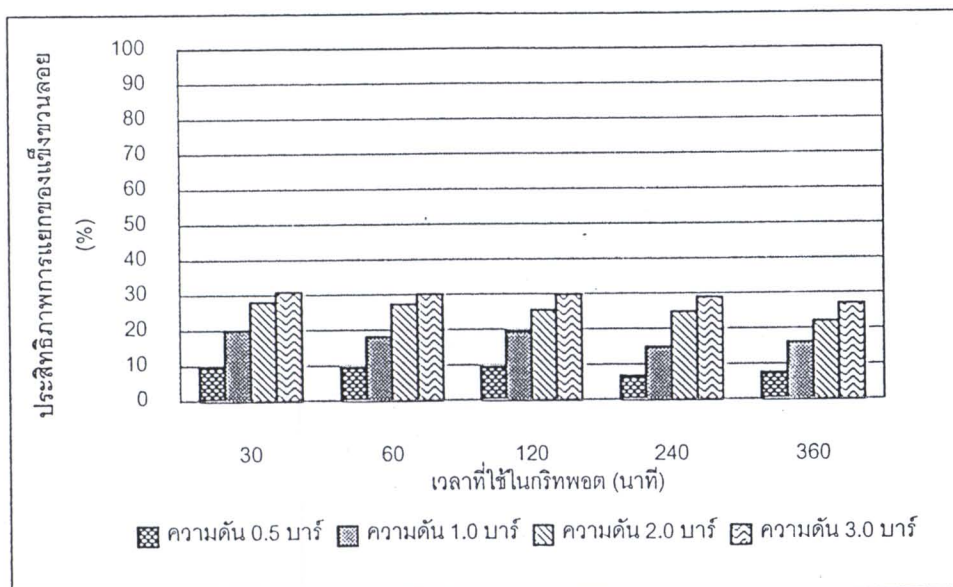
เมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต ดังสมการที่ 2.34 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 19.15 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10.75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.15 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ดำเนินการในกริฟฟอต 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4. 16 ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ติดตั้งกริฟฟอต

4.2.2.3 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต ดังสมการที่ 2.34 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) พบว่า ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต มีค่าอยู่ระหว่าง 7.63 - 30.89 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20.86 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 30.89 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3.0 บาร์ และเวลาที่ใช้ดำเนินการในกริฟฟอต 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ติดตั้งกริพพอด

ในงานวิจัยนี้ น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยต่ำ จึงทำให้มีตะกอนของแข็งแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริพพอดมีไม่เต็มกริพพอด เมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาที่ใช้ในกริพพอดกับประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ถึง 4.17 สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในกริพพอดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่ภายในกริพพอดก็จะมีมากขึ้นมากขึ้น ถึงแม้ว่าตะกอนที่สะสมจะไม่มีเต็มกริพพอด แต่ก็มีอนุภาคของแข็งบางส่วนที่มีโอกาสไหลออกสู่ทางออกด้านบน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยลดลง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puprasert, 2004 ที่กล่าวว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในกริพพอดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยลดลง เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่อยู่ภายในกริพพอดจะไปขัดขวางอนุภาคใหม่ๆ ที่เข้ามาในกริพพอด ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยมีโอกาสไหลกลับสู่ทางออกด้านบน

สำหรับไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดจะไม่มีอัตราการไหลที่ทางออกด้านล่าง ทำให้อัตราการไหลเข้ามีค่าเท่ากับอัตราการไหลออกที่ทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 โดยจากค่าในตารางที่ 4.6 เห็นได้ชัดว่า ค่าอัตราการไหลเข้ามีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับอัตราการไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลถูกจำกัดด้วยความสามารถในการรับน้ำของไฮโดรไซโคลนขนาด 10

มิลลิเมตร ดังนั้น หากต้องการบำบัดน้ำที่มีอัตราการไหลสูงๆ จึงอาจจำเป็นต้องติดตั้งไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร หลายตัว โดยต่อแบบขนาน เพื่อรองรับอัตราการไหลจากไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 อัตราการไหลของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ติดตั้งกริฟฟอต โดยใช้เวลาในกริฟฟอต 240 นาที

ความดันจ่ายเข้า (บาร์)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	
	จ่ายเข้า	ทางออกด้านบน HC 10
0.5	0.23	0.23
1.0	0.30	0.30
2.0	0.42	0.42
3.0	0.55	0.55

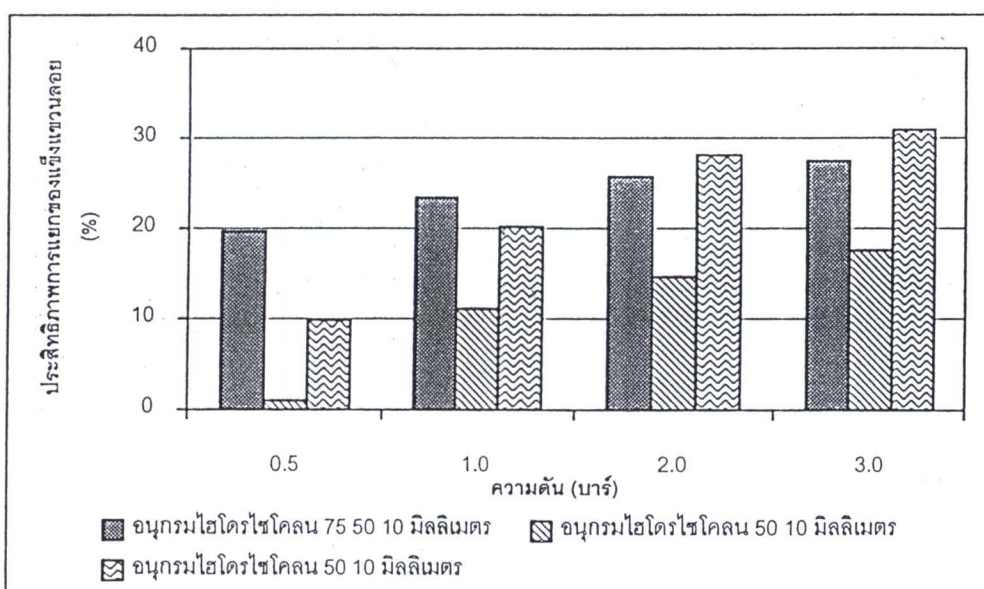
และเมื่อพิจารณาที่ค่าความดันจากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า มีค่าความดันลดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยความดันลดดังกล่าวเกิดจากการไหลในไฮโดรไซโคลนเอง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าความดันลดที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำ (ทำให้ความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าสูง) ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยก็ยังคงไม่สูงนัก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ไฮโดรไซโคลนไม่สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำดิบได้

ตารางที่ 4.7 ความดันลดของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ติดตั้งกริฟฟอต

ความดันจ่ายเข้า (บาร์)	ความดันก่อนเข้าไฮโดรไซโคลน 10 มม. (บาร์)
0.5	0.40
1.0	0.90
2.0	1.90
3.0	2.90

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าน้ำดิบที่นำมาทำการทดลองนั้นมีความเข้มข้นจ่ายเข้าต่ำมาก และประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ดังนั้นเมื่อผ่านไฮโดรไซโคลน จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำมาก เนื่องจากไฮโดรไซโคลนไม่สามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กจนถึงขนาดคอลลอยด์ได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแข็งแชนวอลอยที่แยกได้ระหว่างการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดที่จัดเรียงในแบบต่างๆ คือ ชุดแรกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 75 และ 50 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 50 และ 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอยในแต่ละชุดการทดลองที่ติดตั้งกริพพอด โดยผลของประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอยในแต่ละแบบการจัดเรียงที่ติดตั้งกริพพอด ที่ใช้เวลาในกริพพอด 30 นาที ที่ความดันต่างๆ มีดังนี้คือ ในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาด 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอยสูง โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 27.44 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3 บาร์ ส่วนไฮโดรไซโคลนขนาด 75 และ 50 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพไม่สูงนัก มีค่าสูงสุด 17.57 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3 บาร์ เนื่องจากไฮโดรไซโคลนทั้งสองขนาดนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่เกินไปที่จะแยกน้ำดิบที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ส่วนไฮโดรไซโคลนขนาด 50 และ 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอยสูงที่สุด คือ 30.89 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 3 บาร์ ซึ่งดีกว่าการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนขนาด 75 50 และ 10 มิลลิเมตร จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาด 75 50 และ 10 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาด 50 และ 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอยไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในการนำไปใช้งานจริงการใช้ไฮโดรไซโคลนเพียงสองตัวต่ออนุกรมกัน คือ ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร จะเหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายและลดขั้นตอนในการติดตั้งได้อีกด้วย



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแชนวอลอย
ในทุกการจัดเรียงที่ติดตั้งกริพพอด

โดยภาพรวมไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดมีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยต่ำ (ประมาณ 30%) แต่ก็ยังมีข้อดีคือ สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกโดยให้ความเข้มข้นที่สะสมในกริพพอดสูงมาก ดังนั้นสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา การที่ของแข็งแขวนลอยถูกแยกออกได้ในขั้นต้นจะสามารถลดการใช้สารเคมี (สารส้ม) ลงได้ ทั้งนี้จะแสดงให้เห็นในหัวข้อต่อไป

นอกจากนี้ด้วยสาเหตุที่ขนาดอนุภาคในน้ำดิบมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยต่ำ แต่หากในบางช่วงเวลาที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงขึ้น ซึ่งก็คือน้ำดิบน่าจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นด้วย (เช่น ช่วงฝนตก ฤดูน้ำหลาก เป็นต้น) จะทำให้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดมีประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยมากขึ้น นอกจากนี้การดำเนินการของระบบนี้ไม่จำเป็นต้องรองรับการไหลแบบต่อเนื่อง จึงสามารถเลือกเดินระบบบำบัดน้ำขั้นต้นเป็นช่วงเวลาได้ โดยเฉพาะเวลาที่น้ำมีความขุ่นสูงๆ

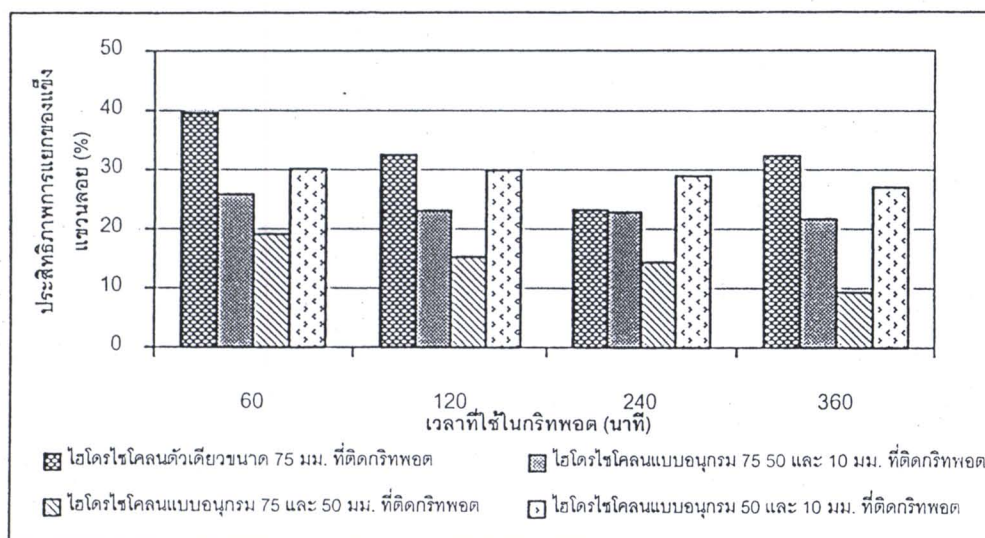
ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 ในการจัดเรียงแบบอนุกรมจากไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร) ไปสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) เนื่องจากในไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เป็นไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก จึงทำการจัดเรียงแบบอนุกรมเช่นนี้เพื่อป้องกันการอุดตันที่อาจจะเกิดขึ้นภายในไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก ทำให้การทดลองดำเนินไปได้โดยไม่เกิดการอุดตัน ซึ่งจะกล่าวต่อไปในเรื่องของขนาดอนุภาคในหัวข้อต่อไป

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลนตัวเดียวที่ติดตั้งกริพพอด

4.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลนตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลนตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองของอ้อทิพย์ จีระชัย (2551) สามารถแสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไฮโดรไซโคลนตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร กับการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.7 ที่เกี่ยวกับขนาดอนุภาคพบว่า ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ช่วยแยกเอาตะกอนของแข็ง

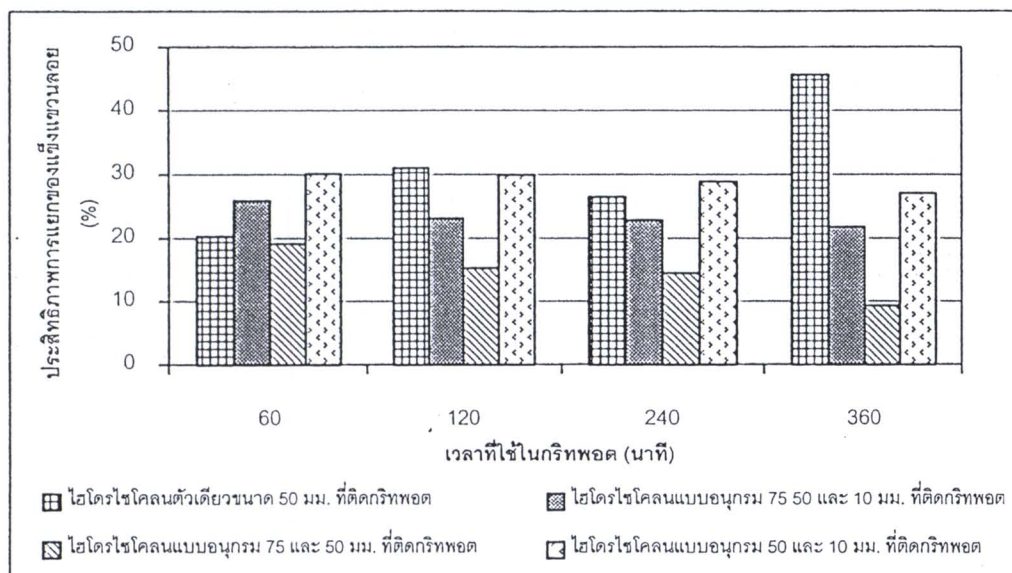
แขวนลอยขนาดใหญ่ออกไปได้หมด ส่งผลให้สามารถป้องกันการเกิดการอุดตันที่จะเกิดขึ้นในไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรได้



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดกับไฮโดรไซโคลตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองของอ้อทิพย์ จีระพรชัย (2551) สามารถแสดงดังรูปที่ 4.20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไฮโดรไซโคลตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กับการจัดเรียงไฮโดรไซโคลแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.7 ที่เกี่ยวกับขนาดอนุภาคพบว่า ไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ช่วยแยกเอาตะกอนของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ออกไปได้หมด ส่งผลให้สามารถป้องกันการเกิดการอุดตันที่จะเกิดขึ้นในไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรได้



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยระหว่างไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพอดกับไฮโดรไซโคลนตัวเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพอด

เนื่องจากน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความเข้มข้นต่ำและมีอนุภาคขนาดเล็ก จึงทำให้สังเกตเห็นประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเมื่อเทียบกับไฮโดรไซโคลนตัวเดียวได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นถ้าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่จ่ายเข้ามีค่าสูงขึ้น เช่น ในฤดูน้ำหลาก น่าจะทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมดีขึ้นและดีกว่าไฮโดรไซโคลนแบบตัวเดียว เนื่องจากไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานได้มากขึ้น

4.4 มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพอด

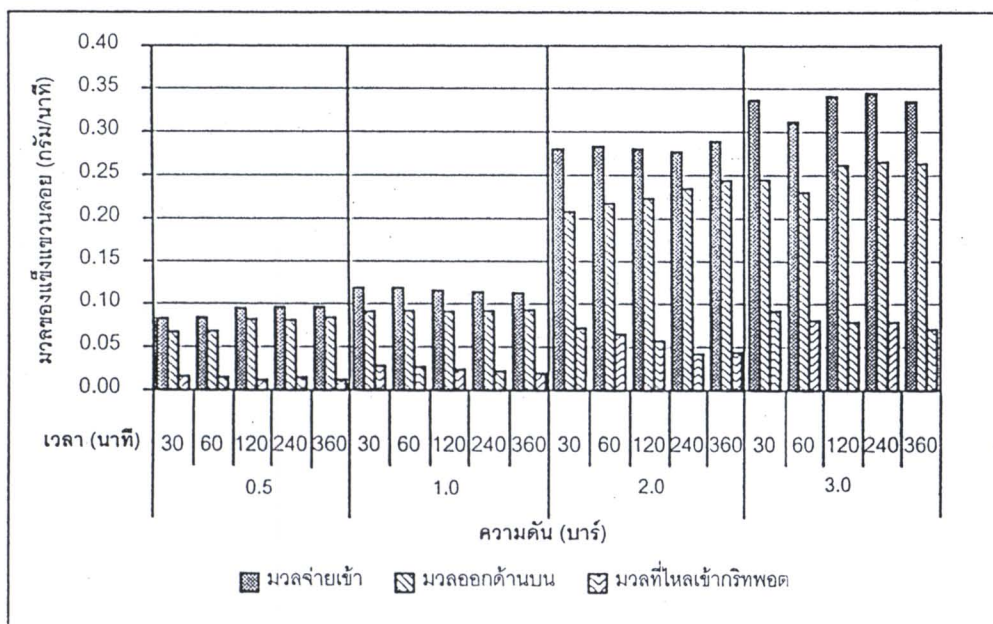
ในหัวข้อการคำนวณมวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้นั้น จะไม่กล่าวถึงการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพอด เนื่องจากมีอัตราไหลที่ทางออกด้านบนต่ำและอัตราไหลรวมที่ทางออกด้านล่างสูงมาก จนไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้จริง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1.2

การคำนวณมวลที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพอด สามารถหาได้จากการนำผลการทดลองที่วิเคราะห์หาความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยมาคำนวณให้อยู่ในรูปของมวล โดยการทำสมดุลมวลของทางเข้าและออกของไฮโดรไซโคลนทั้ง 3 เส้นทางทางไหลของระบบ ได้แก่ จ่ายเข้า (Feed) ทางออกด้านบน (Overflow) และทางออกด้านล่าง (Underflow) มวลที่จ่าย

เข้าและมวลที่แยกออกทางด้านบน สามารถคำนวณได้จากผลคูณของอัตราการใช้กับความเข้มข้น แต่การคำนวณมวลที่สะสมในกริพพอด สามารถคำนวณได้จากมวลที่จ่ายเข้าลบกับมวลที่แยกออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลอนที่ติดตั้งกริพพอด เนื่องจากการเก็บน้ำตัวอย่างจากกริพพอดนั้นอาจมีของแข็งแขวนลอยที่ค้างอยู่ในไฮโดรไซโคลอนผสมมาด้วย จึงทำให้ผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การคำนวณมวลจากสมดุลมวลมาคำนวณมวลของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดแทนการคำนวณมวลที่สะสมในกริพพอดจริง ๆ ผลการคำนวณที่ได้จะอยู่ในรูปของหน่วยน้ำหนักต่อเวลา (ตัวอย่างรายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

4.4.1 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลอนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

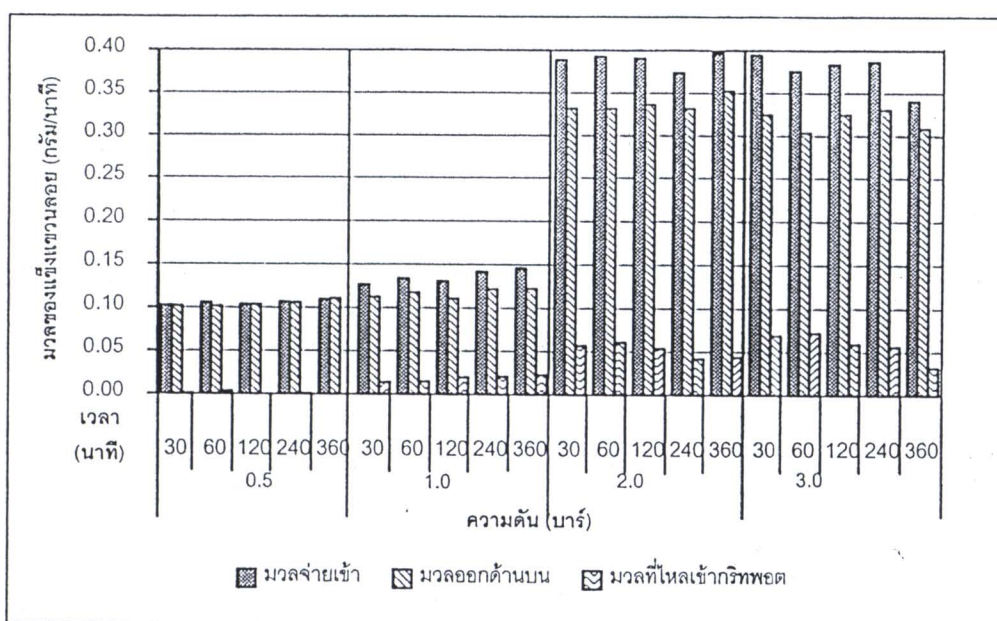
การจัดเรียงไฮโดรไซโคลอนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด ที่ความดัน 0.5 1 2 และ 3 บาร์ เวลาที่ใช้ในกริพพอด 30 60 120 240 และ 360 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) พบว่า มวลของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 0.206 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านล่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0.067 - 0.264 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.012 - 0.092 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.21 มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลอนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

4.4.2 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

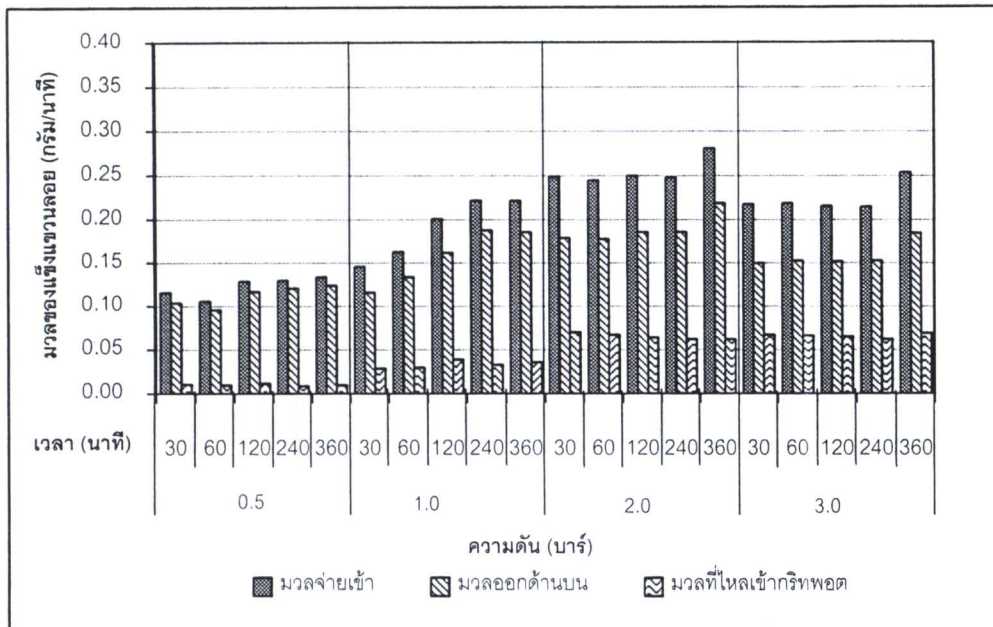
การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด ที่ความดัน 0.5 1 2 และ 3 บาร์ เวลาที่ใช้ในกริพพอด 30 60 120 240 และ 360 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.22 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) พบว่า มวลของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 0.252 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.102 - 0.353 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 0.072 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.22 มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

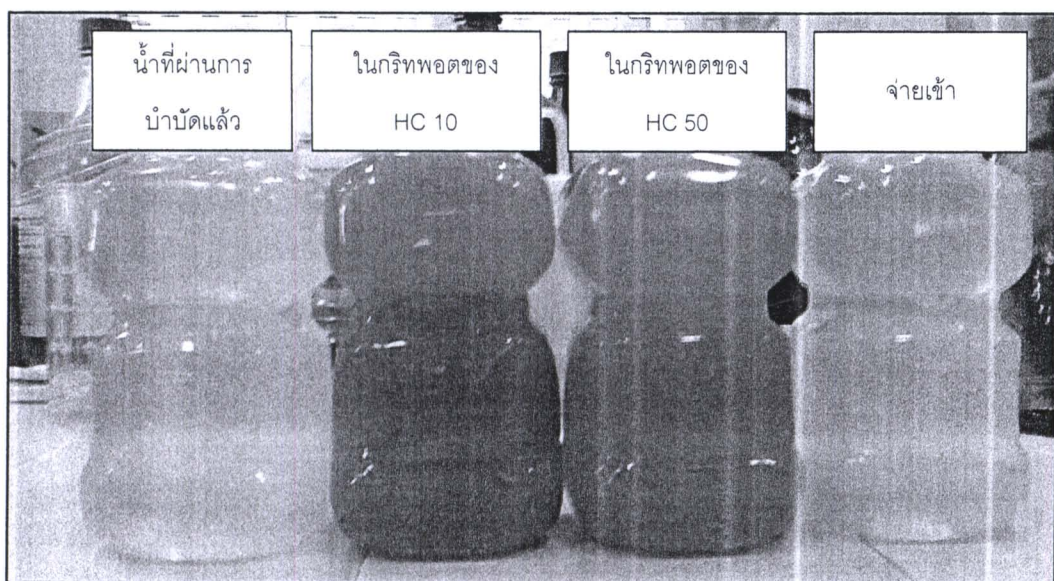
4.4.3 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด

การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด ที่ความดัน 0.5 1 2 และ 3 บาร์ เวลาที่ใช้ในกริพพอด 30 60 120 240 และ 360 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) พบว่า มวลของแข็งแขวนลอยจ่ายเข้ามีค่าเฉลี่ย 0.198 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่ทางออกด้านบนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.096 - 0.219 กรัมต่อนาที และมวลของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.009 - 0.069 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.23 มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอด

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่า มวลของแข็งแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริฟฟอดมี ปริมาณน้อยกว่ามวลที่แยกออกทางด้านบน แต่จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตัวอย่างน้ำที่ได้จากการทดลองด้วยไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอดทั้ง 3 แบบ มีความเข้มข้นมากกว่าน้ำ จ่ายเข้าและที่ทางออกด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ลักษณะของตัวอย่างน้ำทั้ง 3 ช่องการไหลที่ได้จากการทดลองด้วย ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอด

เมื่อเปรียบเทียบมวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ที่ทางออกด้านบน พบว่ามีค่ามากกว่ามวลที่สะสมในกิริทพอดในทุกการจัดเรียงแบบอนุกรม เนื่องจากของแข็งแขวนลอยมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา จึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบมวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกิริทพอด ในทุกการจัดเรียงแบบอนุกรม ที่ความดัน 3 บาร์ ที่เวลา 240 นาที

ไฮโดรไซโคลน แบบอนุกรม (มม.)	มวลของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (กรัม/นาทีก)			
	จ่ายเข้า	ออกด้านบน	สะสมในกิริทพอด	ประสิทธิภาพในการ แยกของแข็ง แขวนลอย
75 50 10	0.345	0.266	0.079	22.90
75 50	0.387	0.331	0.056	14.46
50 10	0.215	0.153	0.062	28.97

4.4.4 เปรียบเทียบมวลของแข็งแขวนลอยที่ถูกแยกออกทางด้านล่างระหว่างการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกิริทพอด

เมื่อเปรียบเทียบมวลของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมทุกการจัดเรียงที่ติดตั้งกิริทพอด ใช้เวลาในกิริทพอด 240 นาที ที่ความดัน 3 บาร์ ดังตารางที่ 4.8 พบว่า ในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร สามารถแยกมวลของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับในแต่ละชุดของการจัดเรียงแบบอนุกรม ส่วนการจัดเรียงอนุกรมแบบ 75 และ 50 มิลลิเมตร และการจัดเรียงอนุกรมแบบ 50 และ 10 มิลลิเมตร จะมีแนวโน้มในการแยกมวลของแข็งแขวนลอยเช่นเดียวกับไฮโดรไซโคลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร คือเมื่อเพิ่มความดันจ่ายเข้า จะทำให้สามารถแยกมวลของแข็งแขวนลอยได้มากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของสโตค (Stokes's law equation) (Metcalf และ Eddy, 2003)

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อคำนึงถึงเรื่องประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยและจำนวนไฮโดรไซโคลนที่ทำการจัดเรียงแล้ว พบว่าไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร เป็นการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเพียงสองตัวเท่านั้น ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง ลดขั้นตอนในการติดตั้ง และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอีกด้วย ดังนั้นไฮโดรไซโคลน

แบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดสามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกได้ในระดับหนึ่ง สามารถนำมาใช้เป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาได้ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

4.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของไฮโดรไซโคลนในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความดันจ่ายเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน และเวลาที่ใช้ในกริพพอด

4.5.1 ความดันจ่ายเข้า

จากผลการทดลองที่ได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร 50 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ซึ่งทดลองแปรเปลี่ยนความดันเพื่อปรับอัตราการไหล โดยควบคุมความดัน 4 ค่า คือ 0.5 1 2 และ 3 บาร์ สำหรับการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดแรก ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สอง ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร และชุดที่สาม ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ซึ่งการดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การทดลองด้วยการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด และที่ติดตั้งกริพพอดที่ทางออกด้านล่าง พบว่า การเพิ่มความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนทำให้อัตราการไหลเข้าไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง (V_y) มีค่าสูงขึ้นสามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.4 ($V_y = \alpha \frac{Q}{A_i}$) ซึ่งส่งผลให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนหรือความเร่งหนีศูนย์กลาง (ζ) มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังอธิบายได้จากสมการที่ 2.10 ($\zeta = \frac{V_y^2}{R \cdot g}$) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนกับความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง และเนื่องจากความเร่งหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนจะมีค่ามากกว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาก ดังนั้นความเร็วในการตกตะกอนของไฮโดรไซโคลน (V_p) จากสมการกฎของสโตค (Stokes's law equation) (Metcalf และ Eddy, 2003) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_p = \frac{\Delta\rho \cdot d_p^2 \cdot \zeta}{18\mu} \quad (2.11)$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร่งหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้โอกาสในการแยกของแข็งแขวนลอยของไฮโดรไซโคลนมีมากขึ้น

ดังนั้น เมื่อความดันจ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนสูงขึ้น ส่งผลให้ความเร็วและประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน รวมไปถึงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่แยกออกทางด้านล่างสำหรับไฮโดรไซโคลนแบบที่ไม่ได้ติดตั้งกริฟฟอต ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยและมวลที่สะสมอยู่ในกริฟฟอตสำหรับไฮโดรไซโคลนที่ติดตั้งกริฟฟอตจึงเพิ่มตามไปด้วย ดังผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ถึง 4.4

4.5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน

จากการทดลอง พบว่า ในการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมจากไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร) ไปสู่ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็ก (ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) สามารถป้องกันการเกิดการอุดตันที่จะเกิดขึ้นในไฮโดรไซโคลนขนาดเล็กได้ ทำให้การทดลองดำเนินไปได้โดยไม่เกิดการอุดตัน โดยจะเห็นผลชัดขึ้นเมื่อดูผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.7 ที่เกี่ยวกับขนาดอนุภาค

นอกจากนี้ จากผลการทดลองความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริฟฟอตของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอต ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริฟฟอตของไฮโดรไซโคลนแต่ละตัว พบว่า ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีความเข้มข้นสูงกว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีความเข้มข้นสูงกว่าไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Helmholtz's law (Puprasert, 2004) ที่แสดงถึงการหมุนวนของของไหล เมื่อมีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม ดังสมการที่ 2.6

$$V_y \times R'' = \text{ค่าคงที่} \quad (2.6)$$

เมื่อ R'' มีค่าระหว่าง 0.5-0.9 (Kelsall, 1952 อ้างถึงใน Svarovsky, 1984)

จากสมการที่ 2.6 แสดงถึงการหมุนวนภายนอก (Outer Vortex) ในทิศทางลงตามแนวสัมผัสเส้นรอบวง นั่นคือ เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลดลง ความเร็วตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงเพิ่มขึ้น

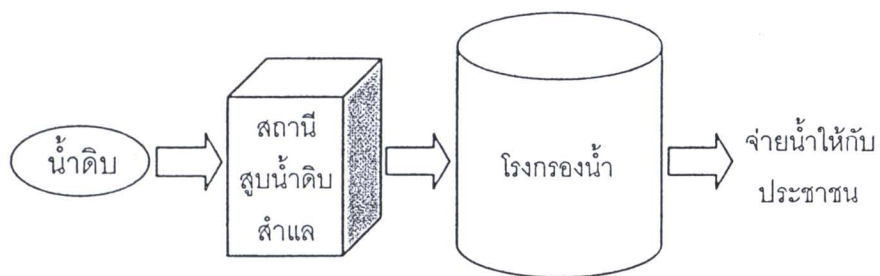
กล่าวคือ เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนลง ทำให้ความเร็วลัพท์ของอนุภาคในไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนถูกเหวี่ยงปะทะกับผนังของไฮโดรไซโคลน ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ไหลออกสู่ทางด้านล่างได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.5.3 เวลาที่ใช้ในกริทพอด

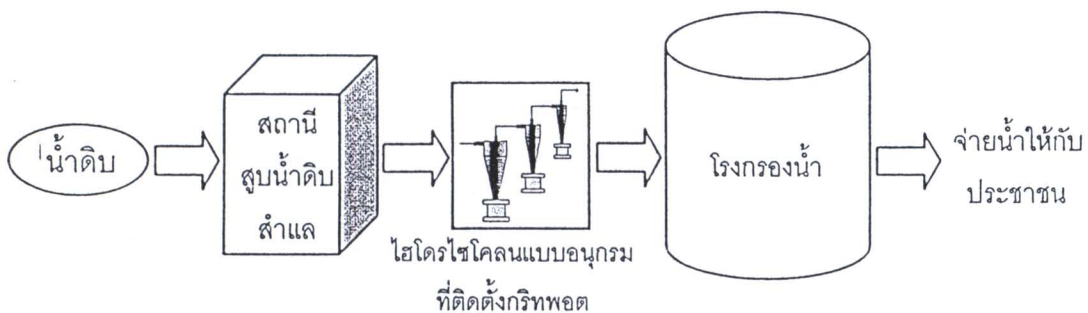
จากผลการทดลองสำหรับการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริทพอด เมื่อใช้เวลาในการดำเนินการในกริทพอดแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ถึง 4.17 พบว่า เมื่อดำเนินการทดลอง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะไหลออกสู่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนด้วยการหมุนวนภายนอกและเกิดการสะสมตัวอยู่ภายในกริทพอด โดยที่น้ำใสและอนุภาคขนาดเล็กไหลย้อนกลับผ่านช่องแคบรอบแกนอากาศออกสู่ทางออกด้านบนด้วยการหมุนวนภายใน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ตะกอนที่สะสมตัวอยู่ภายในกริทพอดมีปริมาณน้อย โดยจากการสังเกตเห็นว่ามีตะกอนอยู่ไม่เต็มกริทพอด ดังนั้นของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ที่สะสมตัวอยู่ในกริทพอดจะมีโอกาสไหลย้อนกลับออกไปทางด้านบนเพียงเล็กน้อย จึงอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในกริทพอดในงานวิจัยนี้ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในกริทพอดนั้นมีไม่เต็มกริทพอด และในส่วนของความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่สะสมตัวอยู่ในกริทพอด เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในกริทพอดจะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการทดลองในส่วนนี้พบว่ามีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Puprasert, 2004 ที่กล่าวไว้ว่า กริทพอดจะติดอยู่ที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอนขนาดเล็ก และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยจะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในกริทพอด เมื่อตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในกริทพอดมากเกินไปจนกริทพอดเต็ม ตะกอนจะไหลย้อนกลับออกไปที่ทางออกด้านบน ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยลดลง โดยจากงานวิจัยนี้ ผู้ทำการวิจัยมีความเห็นว่าควรจะนำไปทดลองใช้กับน้ำที่มีความเข้มข้นมากกว่านี้ เพื่อให้กริทพอดเต็ม จะทำให้เห็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่กริทพอดเต็มได้ชัดเจนขึ้น

4.6 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงเมื่อผ่านไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต

ในระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน การประปานครหลวงได้มีการสูบน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยามายังสถานีสูบน้ำดิบสำแล และจะส่งน้ำดิบโดยคลองประปาซึ่งมีระยะทางประมาณ 31 กิโลเมตร (การประปานครหลวง, www.mwa.co.th) ไปยังโรงกรองน้ำเพื่อเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา จากนั้นจึงสูบน้ำให้กับประชาชน ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (ก) ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน สำหรับในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาและลดปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมลงไปในระบบผลิตน้ำประปาให้น้อยลง จึงได้ทำการจำลองโดยการนำไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอตมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาจริง ดังรูปที่ 4.25 (ข) เพื่อที่จะคำนวณว่าเมื่อนำไฮโดรไซโคลนมาติดตั้งก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาแล้ว จะช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ได้มากน้อยเพียงใด



(ก) ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

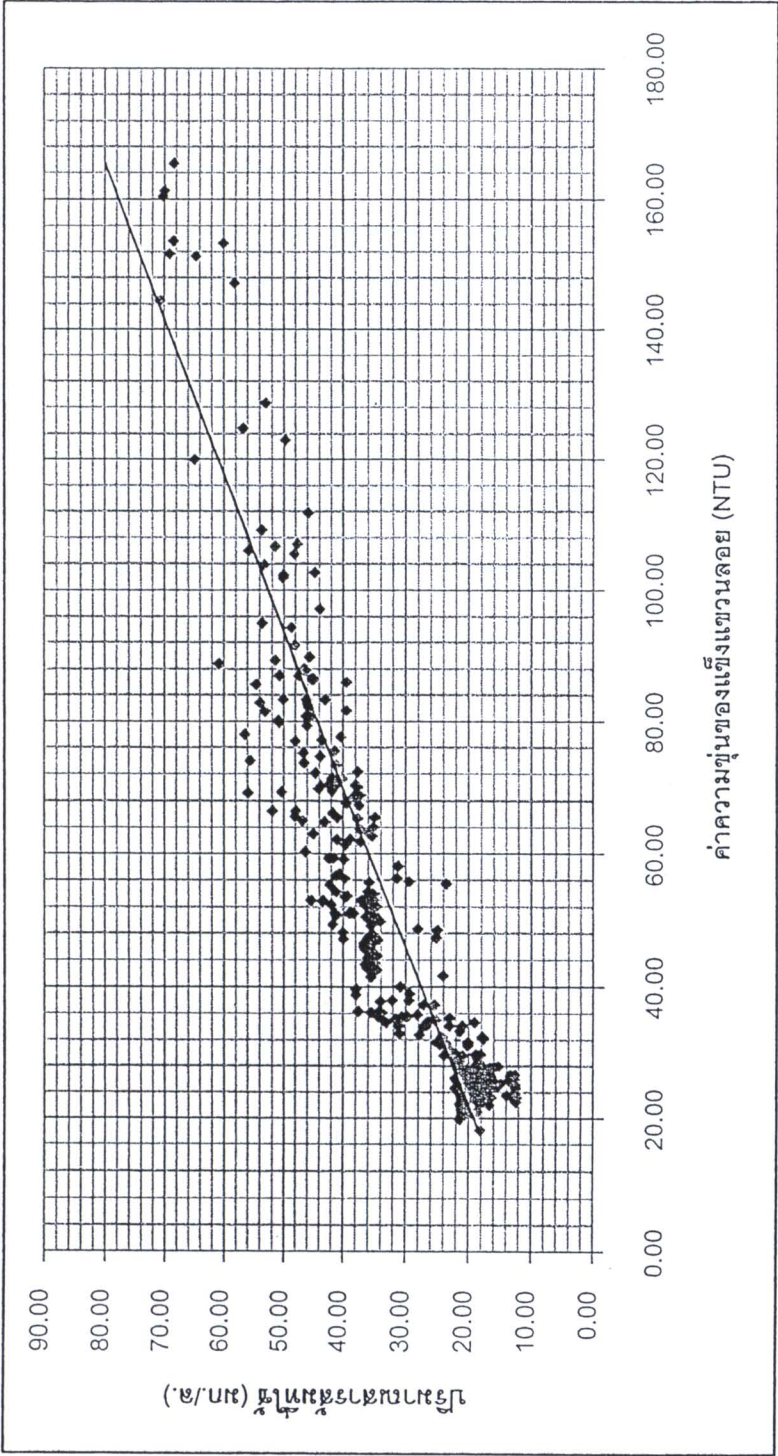


(ข) จำลองระบบผลิตน้ำประปาเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการผลิตน้ำประปา

รูปที่ 4.25 แผนผังแสดงระบบผลิตน้ำประปา (ก) ระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน และ (ข) จำลองระบบผลิตน้ำประปาเมื่อติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการผลิตน้ำประปา

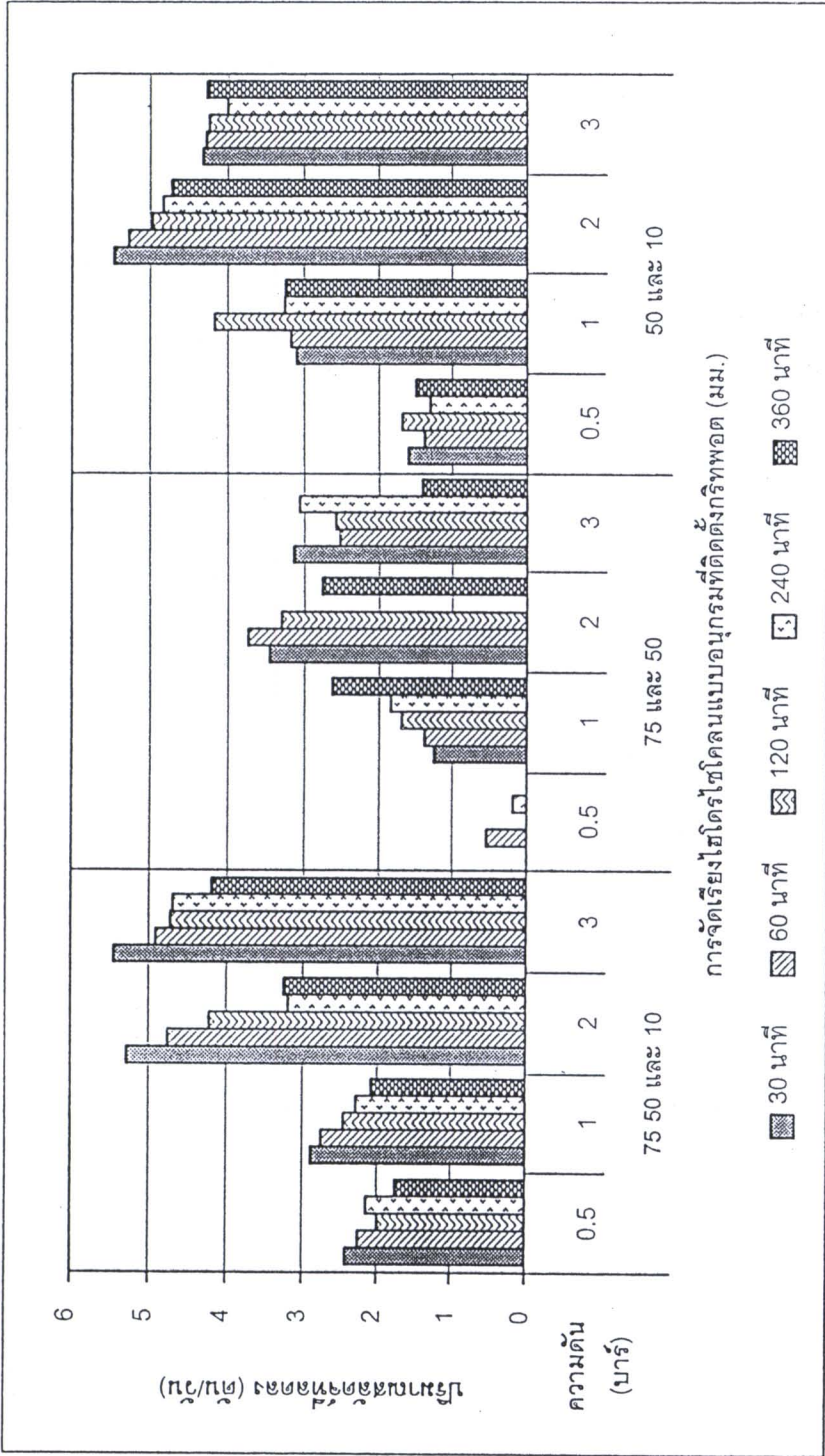
ในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นจะมีการเติมสารเคมี คือ ปูนขาว คลอรีน และสารส้ม โดยในการเติมสารส้มนั้นก็เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำดิบ ซึ่งงานวิจัยนี้จะสนใจสารส้มเพียงชนิดเดียว ดังนั้นหลังผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้วจะมีสไลด์จ์เกิดขึ้น ซึ่งส่วนประกอบของสไลด์จ์นั้นก็คือปริมาณของแข็งแขวนลอยและสารส้ม โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาหาปริมาณสไลด์จ์ที่ลดลงหลังผ่านไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอด ซึ่งการหาปริมาณสไลด์จ์ที่ลดลง จะทำการคำนวณปริมาณสไลด์จ์ที่เกิดขึ้นจากทั้งระบบ (ก) และ (ข) หลังผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปา แล้วนำมาทำการเปรียบเทียบกัน

สำหรับการคำนวณปริมาณสไลด์จ์ที่เกิดขึ้นทั้งระบบ (ก) และ (ข) สามารถคำนวณได้จากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้และปริมาณสารส้มที่เติมลงไป โดยปริมาณสารส้มที่นำมาใช้ในการคำนวณ ได้มาจากข้อมูลการปฏิบัติงานจริงของกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จากการประปานครหลวง (การประปานครหลวง, 2553) โดยที่หน่วยวิเคราะห์คุณภาพน้ำนี้จะทำการทดลองทุกวัน โดยใช้จาร์เทสต์เพื่อหาปริมาณสารส้มที่ต้องเติมลงไป ซึ่งปริมาณสารส้มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความขุ่นเพียงอย่างเดียว แต่ในการปฏิบัติงานจริงของการประปานครหลวง นอกจากค่าความขุ่นแล้ว ยังมีค่าตัวแปรอื่นๆ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภาวะความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) มาใช้เป็นข้อมูลในการเติมสารส้ม โดยจากการทดลองทำจาร์เทสต์ของการประปานครหลวงแล้ว จึงนำค่าต่างๆ มาเขียนเป็นกราฟได้ค่าดังรูปที่ 4.26 จากนั้นนำมาใช้ในการประมาณการหาปริมาณสารส้มที่ใช้จากค่าความขุ่นต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง (การคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ง)



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของแข็งแขวนลอยและปริมาณสารสีที่ใช้เติมลงไปในระบบผลิตน้ำประปา
(การประปานครหลวง, 2553)

จากการคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงหลังจากการจำลองการติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริทพอดเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการผลิตน้ำประปาของไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมในทุกการจัดเรียงแบบอนุกรม ที่ความดัน 0.5 1 2 และ 3 บาร์ โดยปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในระบบจะใช้ข้อมูลของการประปานครหลวง ที่โรงกรองน้ำสามเสนในช่วงตลอดปี 2552 ซึ่งมีอัตราไหลเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาเฉลี่ย 500,348 ลบ.ม./วัน (การคำนวณแสดงในตารางภาคผนวก ง) พบว่า ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 3 บาร์ เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริทพอด 30 นาที ให้ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงมากที่สุด คือ 5.54 ตัน/วัน ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ความดัน 2 บาร์ เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริทพอด 60 นาที ให้ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงมากที่สุด คือ 4.08 ตัน/วัน และไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ความดัน 2 บาร์ เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริทพอด 30 นาที ให้ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงมากที่สุด คือ 5.85 ตัน/วัน ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ปริมาณสัดที่ลดลงเมื่อติดตั้งการจัดเรียงไฮโดรไฮโดรแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพอด ทุกชุดการจัดเรียงแบบอนุกรม

จากการสอบถามข้อมูลจากบริษัท เบตเตอร์ เวิลด์ กรีน จำกัด (มหาชน) (บริษัท เบตเตอร์ เวิลด์ กรีน จำกัด (มหาชน), 2553) ค่ากำจัดสลัดจ์ที่ได้จากการผลิตน้ำประปา คิดเป็นเงิน 9,000-10,000 บาท/ตัน ซึ่งราคาจะคิดตามสภาพความเป็นกรดของสลัดจ์ที่เกิดขึ้น และจากการสอบถามข้อมูลราคาสารส้มจากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ การประปานครหลวง (การประปานครหลวง, 2553) พบว่า สารส้มมีราคา 4,432 บาท/ตัน โดยในตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอตมาติดตั้งเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ในการติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอตนี้ ทำให้มีค่าไฟฟ้าจากปั๊มสูบน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนด้วย ดังนั้นจึงต้องนำค่าไฟฟ้ามาคำนวณด้วย โดยในการคำนวณจะคำนวณค่าไฟฟ้าโดยใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of use Rate : TOU) ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.695 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราการไหลเข้าของน้ำดิบสูงสุด 30,000 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ดังตารางที่ 4.9 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการนำการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอตมาติดตั้งเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ค่าที่ได้จากการคำนวณ		ชุดการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรม ที่ติดตั้งกริพพอต (มม.)			
		75 50 10	75 50	50 10	
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (ตัน/วัน)	ต่ำสุด*	1.80	0	1.42	
	สูงสุด*	5.54	4.08	5.85	
ปริมาณสลัดจ์ที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	ต่ำสุด*	7.50	0	4.70	
	สูงสุด*	16.70	11.50	19.84	
ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ที่ลดลง (บาท/วัน)	ต่ำสุด*	17,064	0	13,452	
	สูงสุด*	52,619	38,787	55,614	
ปริมาณสารส้มที่ลดลง (ตัน/วัน)	ต่ำสุด*	0	0	0.15	
	สูงสุด*	0.55	0.75	1.30	
ค่าใช้จ่ายของปริมาณสารส้มที่ลดลง (บาท/วัน)	ต่ำสุด*	0	0	665	
	สูงสุด*	2,439	3,326	5,766	
ค่าใช้ไฟฟ้าของไฮโดรไซโคลน (บาท/วัน)		3,216	3,216	3,216	
รวมค่าใช้จ่ายที่ลดลงทั้งหมด (บาท/วัน)		สูงสุด*	50,290	38,897	56,168

* ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ควบคุมการทำงาน เช่น ความดันจ่ายเข้า เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริพพอต เป็นต้น

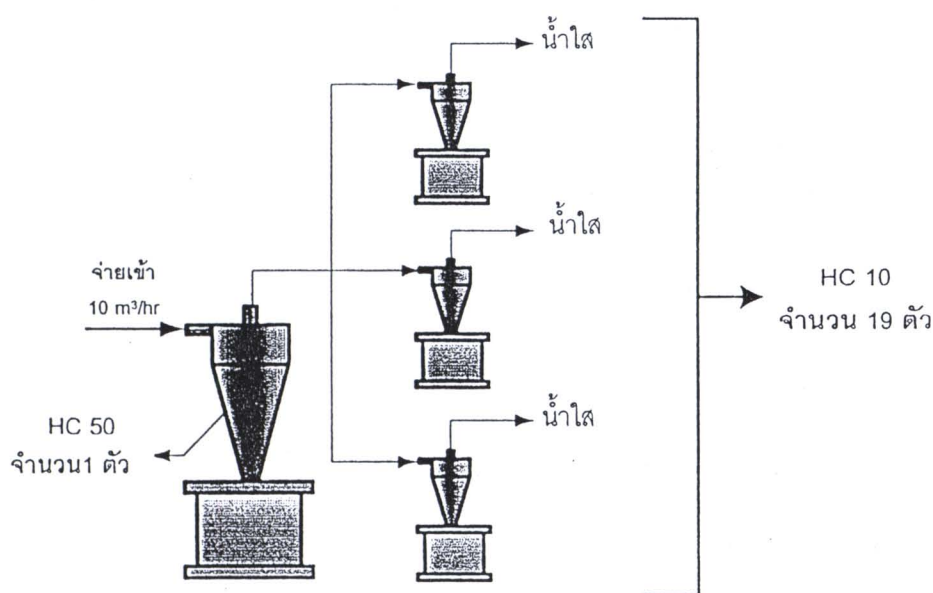
จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสลัดจ์และค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ที่ลดลงจากการใช้การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอต พบว่า การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร สามารถลดปริมาณสลัดจ์ได้มากที่สุด คือ 5.85 ตัน/วัน และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ได้มากที่สุด คือ 55,614 บาท/วัน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลเรื่องประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยที่กล่าวไว้ว่า ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด และเมื่อมาดูที่ปริมาณสารส้มที่ลดลงและค่าใช้จ่ายของปริมาณสารส้มที่ลดลงแล้ว พบว่า ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร อีกเช่นเดียวกันที่สามารถลดปริมาณสารส้มได้มากที่สุด คือ 1.30 ตัน/วัน และลดค่าใช้จ่ายของปริมาณสารส้มได้มากที่สุด คือ 5,766 บาท/วัน แต่เมื่อหักค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของไฮโดรไซโคลน 3,214 บาท/วัน แล้วรวมค่าใช้จ่ายที่ลดลงทั้งหมดจะเท่ากับ 56,168 บาท/วัน

แต่จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร สามารถลดปริมาณสลัดจ์ได้ใกล้เคียงกับไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบในเรื่องประสิทธิภาพการแยกของแข็งแขวนลอยและจำนวนไฮโดรไซโคลนที่ทำการจัดเรียงแล้ว พบว่าไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร เป็นการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมเพียงสองตัวเท่านั้น ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง ลดความยุ่งยากในการติดตั้ง และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอีกด้วย

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอตสามารถลดปริมาณสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาได้ โดยสามารถรวบรวมตะกอนที่สะสมอยู่ภายในกริฟฟอตไปกำจัดได้โดยง่าย ในขณะที่น้ำใสและมีของแข็งแขวนลอยบางส่วนที่ไหลออกที่ทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำใสและของแข็งแขวนลอยบางส่วนที่ไหลเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปานั้นมีค่าลดลง ทำให้สามารถลดปริมาณการเติมสารเคมีในขั้นตอน Coagulation-Flocculation ในระบบผลิตน้ำประปาให้น้อยลง ส่งผลให้สลัดจ์ที่เกิดจากสารส้มซึ่งเป็นสลัดจ์ที่ทำการกำจัดได้ยากมีปริมาณลดลง อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตน้ำประปาได้อีกด้วย

จากงานวิจัยนี้ สามารถออกแบบไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอตเพื่อเป็นหน่วยบำบัดขั้นต้นในการผลิตน้ำประปาได้ โดยสามารถใช้กับการผลิตน้ำประปาในชุมชนขนาดเล็ก เช่น การประปาของชุมชน เป็นต้น โดยสมมติอัตราไหลเข้าของน้ำดิบ 100 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และเลือกไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอตที่มีประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอย

ของไฮโดรไซโคลนมากที่สุด นั่นคือ การใช้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด ซึ่งไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตรสามารถรับอัตราการไหลของน้ำดิบได้สูงสุด 10 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ที่ความดัน 3 บาร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด จำนวน 10 ตัว ต่อขนานกัน และสำหรับไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร สามารถรับอัตราการไหลของน้ำดิบได้สูงสุด 0.55 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ที่ความดัน 3 บาร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด จำนวน 19 ตัว ต่อขนานกันจากไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด แต่ละตัว รวมใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด จำนวน 190 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)



รูปที่ 4.28 การใช้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริพพอด โดยการต่อแบบขนาน

อย่างไรก็ตามการคำนวณหาจำนวนไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดเป็นเพียงแนวคิดเท่านั้น หากต้องการใช้ไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริพพอดจริง จะต้องคำนึงถึงการติดตั้งไฮโดรไซโคลน กริพพอด ระบบท่อในการจ่ายน้ำ และอื่นๆ อีกมากมาย

4.7 ขนาดอนุภาคที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟฟอด

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำดิบจริง ซึ่งขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลนจะแตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อม ณ เวลาที่ดำเนินการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในแง่ของขนาดอนุภาค (D_{50}) ที่ถูกแยกออกจากไฮโดรไซโคลนที่ทางออกด้านบน (Overflow) และทางออกด้านล่าง (Underflow) กับขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้า (Feed) ซึ่งสามารถแสดงได้จาก %GE (Granulometric separation efficiency) (Puprasert, 2004) ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.5.6 ในส่วนการไหลออกทางด้านบนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.39 ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ GE} = \frac{D_{50} \text{ Feed} - D_{50} \text{ Overflow}}{D_{50} \text{ Feed}} \times 100 \quad (2.39)$$

และในส่วนการไหลออกทางด้านล่าง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.40 ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ GE} = \frac{D_{50} \text{ Underflow} - D_{50} \text{ Feed}}{D_{50} \text{ Feed}} \times 100 \quad (2.40)$$

4.7.1 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอด

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอด แสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค (SD) ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟฟอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ ในกริฟฟอด (นาท)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) (ไมครอน)									
		จ่ายเข้า		ทางออก ด้านบน		ในกริฟฟอด					
		D_{50}	SD	D_{50}	SD	D_{50}			SD		
						HC 75	HC 50	HC 10	HC 75	HC 50	HC 10
0.5	30 - 360	10.32	0.43	9.40	0.44	21.14	19.79	19.16	5.84	4.21	6.51
1.0		10.20	0.43	9.42	0.29	26.72	23.34	19.69	5.64	6.88	6.76
2.0		9.02	0.76	8.41	0.52	28.94	35.51	22.11	9.80	18.10	5.93
3.0		11.14	0.31	9.37	0.24	31.48	35.12	22.82	12.07	12.09	5.36

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.11 % GE ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ ในกริทพอด (นาทีก)	Granulometric separation efficiency (%)			
		ทางออก ด้านบน	ในกริทพอด		
			HC 75	HC 50	HC 10
0.5	30	10.03	42.10	40.48	7.09
	60	9.14	74.90	77.01	55.11
	120	3.23	108.22	97.01	82.58
	240	10.68	122.90	112.36	131.76
	360	11.27	168.59	126.97	143.34
1.0	30	7.90	74.89	42.35	27.65
	60	10.12	132.95	63.22	40.65
	120	10.38	169.35	148.61	65.68
	240	5.00	190.95	178.10	134.42
	360	4.66	251.59	224.53	208.80
2.0	30	6.34	125.41	86.82	64.03
	60	9.26	128.60	124.06	91.73
	120	5.77	270.10	282.93	188.13
	240	2.06	242.03	508.71	215.21
	360	9.64	323.90	451.49	167.53
3.0	30	17.52	92.86	60.85	41.62
	60	19.98	103.45	157.10	77.73
	120	17.62	112.68	217.16	97.60
	240	10.92	274.76	310.35	140.16
	360	13.24	336.71	334.64	168.70

4.7.2 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด แสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตารางที่ 4.12 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค (SD) ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ ในกริทพอด (นาทิจ)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) (ไมครอน)							
		จ่ายเข้า		ทางออกด้านบน		ในกริทพอด			
		D_{50}	SD [*]	D_{50}	SD [*]	D_{50}		SD [*]	
						HC 75	HC 50	HC 75	HC 50
0.5	30 - 360	9.48	1.19	8.78	1.18	19.75	20.43	7.50	8.65
1.0		8.89	1.45	8.32	1.37	24.67	34.74	15.47	17.28
2.0		8.50	0.70	8.03	0.63	37.76	41.16	23.26	10.60
3.0		10.29	0.19	9.86	0.16	51.09	63.82	23.03	21.38

^{*} SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.13 % GE ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ในกริทพอด (นาทิจ)	Granulometric separation efficiency (%)		
		ทางออกด้านบน	ในกริทพอด	
			HC 75	HC 50
0.5	30	4.68	26.32	13.30
	60	7.44	39.70	49.31
	120	8.32	54.00	78.08
	240	8.39	203.29	168.26
	360	8.48	273.87	324.86
1.0	30	6.07	21.38	65.99
	60	6.12	36.13	135.09
	120	6.87	46.61	177.29
	240	7.22	452.39	594.04
	360	6.09	486.23	661.63

ตารางที่ 4.13 % GE ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด (ต่อ)

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ในกริทพอด (นาท)	Granulometric separation efficiency (%)		
		ทางออกด้านบน	ในกริทพอด	
			HC 75	HC 50
2.0	30	10.56	33.99	223.79
	60	4.16	88.58	262.66
	120	4.27	401.81	480.76
	240	5.65	478.15	402.42
	360	2.54	766.98	580.73
3.0	30	7.17	59.09	205.40
	60	2.48	346.50	447.00
	120	3.48	378.33	545.84
	240	3.91	557.01	641.82
	360	4.05	650.39	768.87

4.7.3 การจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด แสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 ตารางที่ 4.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาค (SD) ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ ในกริทพอด (นาท)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) (ไมครอน)							
		จ่ายเข้า		ทางออกด้านบน		ในกริทพอด			
		D_{50}	SD	D_{50}	SD	D_{50}		SD	
						HC 50	HC 10	HC 50	HC 10
0.5	30 - 360	7.46	0.21	7.05	0.13	32.09	20.93	24.21	13.57
1.0		7.30	0.73	7.02	0.74	38.88	22.70	24.82	13.92
2.0		8.50	0.36	7.60	0.27	41.98	25.24	22.16	6.94
3.0		7.58	0.40	6.50	0.44	44.42	27.69	15.01	7.55

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.15 % GE ที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริฟพอด

ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ในกริฟพอด (นาท)	Granulometric separation efficiency (%)		
		ทางออกด้านบน	ในกริฟพอด	
			HC 50	HC 10
0.5	30	5.81	61.69	36.48
	60	3.61	88.24	77.90
	120	5.66	194.75	99.70
	240	5.51	545.95	206.09
	360	7.04	779.52	478.08
1.0	30	5.02	84.63	26.72
	60	2.98	207.96	36.04
	120	2.85	292.50	143.52
	240	4.57	626.95	393.67
	360	3.59	1062.14	521.63
2.0	30	10.68	145.17	78.79
	60	10.00	194.06	184.92
	120	10.44	307.55	190.22
	240	9.42	598.75	259.13
	360	12.22	699.64	264.38
3.0	30	15.65	248.34	126.97
	60	16.14	324.93	208.58
	120	14.88	524.11	311.03
	240	13.84	689.15	331.67
	360	11.69	643.22	345.90

น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำดิบจริงจากสถานีสูบน้ำดิบสำแล ดังนั้นขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เข้าสู่ไฮโดรไซโคลนจึงมีขนาดที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง และจากผลการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริฟพอด ดังแสดงในตารางที่ 4.11 4.13 และ 4.15 จะเห็นได้ว่า ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50}) ที่แยกออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่แยกออกทางด้านบนเสมอ ในขณะที่เดียวกันขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่แยกออกทางออกด้านบนก็จะมีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการทำงานของไฮโดรไซโคลน ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

4.7.4 ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมกับขนาดอนุภาค

จากการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคที่จ่ายเข้าไฮโดรไซโคลน พบว่า ขนาดที่จ่ายเข้ามีค่าประมาณ 7.22 ไมครอน จะเห็นได้ว่าอนุภาคของแข็งแขวนลอยนั้นมีขนาดเล็ก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของสโตค (สมการที่ 2.11) กล่าวคือ ขนาดอนุภาค (d_p) และความหนาแน่นของอนุภาค ($\Delta\rho$) เป็นอีกตัวแปรที่ส่งผลต่อความเร็วในการตกตะกอน นั่นคือ เมื่ออนุภาคของแข็งแขวนลอยมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมีค่าต่ำ ซึ่งจากสมการของสโตคจะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาค (d_p) จะอยู่ในรูปของกำลังสอง (d_p^2) โดยที่ d_p^2 จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในไฮโดรไซโคลนมากกว่าความหนาแน่นของอนุภาค

4.7.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริทพอด

จากการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริทพอด 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดแรกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 50 และ 10 มิลลิเมตร ชุดที่สอง 75 และ 50 มิลลิเมตร และชุดที่สาม 50 และ 10 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกริทพอด ที่ความดัน 0.5 1 2 และ 3 บาร์ เวลาที่ใช้ดำเนินการในกริทพอด 30 - 360 นาที พบว่า

1. เมื่อพิจารณาในแต่ละการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ติดตั้งกริทพอด พบว่า เมื่อเพิ่มความดันที่จ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากไฮโดรไซโคลนมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความดันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของแข็งแขวนลอยในแง่ของขนาดอนุภาคของการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมทุกการจัดเรียงที่ติดตั้งกริทพอด เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เข้าจ่ายเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนมีขนาดค่อนข้างเล็ก และมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

2. เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ดำเนินการในกริทพอด พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในกริทพอดเพิ่มขึ้น ค่า %GE ในกริทพอดมีมากขึ้นตามไปด้วย และ %GE ที่ทางออกด้านบนมีแนวโน้มไม่ชัดเจน อาจเนื่องมาจาก เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่ในกริทพอดนั้นมีจำนวนมากขึ้นแต่มีไม่เต็มกริทพอด จึงทำให้ภายในกริทพอดนั้นสามารถรับปริมาณของแข็งแขวนลอยได้อีก ส่งผลให้ %GE มีค่าสูงขึ้น แต่ถึงแม้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่ใน

กริพพอดนั้นมิได้เต็มกริพพอด ก็ยังมีอนุภาคขนาดใหญ่บางส่วนไหลย้อนกลับไปที่ทางออกด้านบนได้

ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.1.2 ที่กล่าวว่า เมื่อนำกริพพอดไปติดตั้งที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน ทำให้ของแข็งแขวนลอยที่สะสมในกริพพอดมีความเข้มข้นสูงมากขึ้น จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากกว่าการจัดเรียงไฮโดรไซโคลนแบบอนุกรมที่ไม่ได้ติดตั้งกริพพอด

จากการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 และ 50 มิลลิเมตร) สามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกได้ และเมื่อเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) จะพบว่ามีความถี่ของอนุภาคที่เล็กกว่าในไฮโดรไซโคลนขนาดใหญ่ ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้สามารถพิสูจน์ได้ว่าในขณะที่ทำการทดลองนั้นสามารถลดโอกาสการเกิดการอุดตันไปได้มาก