



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

กระบวนการแยกอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้ไฮโดรไซโคลน

Separation Process of Nano Calcium carbonate Particle Using Hydrocyclone

นางวรรณวิไล ไกรเพชรเอวานต์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก ทุนวิจัยเริ่มต้นสำหรับอาจารย์ใหม่ กองทุนวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

กระบวนการแยกอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้ไฮโดรไซโคลน

Separation Process of Nano Calcium carbonate Particle Using Hydrocyclone

นางวรรณวิไล ไกรเพชรเอวานต์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก ทุนวิจัยเริ่มต้นสำหรับอาจารย์ใหม่ กองทุนวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) กระบวนการแยกอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้ไฮโดรไซโคลน
 แหล่งเงิน ทุนวิจัยเริ่มต้นสำหรับอาจารย์ใหม่ กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000 บาท
 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง 30 พฤศจิกายน 2561
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรณวิไล ไกรเพ็ชร เอวานส์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคระดับนาโนเมตรและไมครอนของไฮโดรไซโคลนรัศมีขนาด 10 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ ไฮโดรไซโคลน MZ และ ไฮโดรไซโคลน SWU โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 50 นาโนเมตร และแคลเซียมคาร์บอเนต ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 730 นาโนเมตร เป็นสารทดสอบ โดยผสมกับน้ำ ความเข้มข้นของของผสมที่ใช้ในการทดลอง 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และความดันที่ใช้ในการทดลอง 1, 3, 5, 10, 15 และ 20 psi ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮโดรไซโคลน MZ สามารถแยกอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในช่วงความดันลด 1 ถึง 20 psi ส่วนไฮโดรไซโคลน SWU ไม่สามารถทำการแยกอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ได้ เนื่องจากความยาวของไฮโดรไซโคลน SWU น้อยกว่าของไฮโดรไซโคลน MZ จึงทำให้ระยะเวลาในกระบวนการแยกภายในไฮโดรไซโคลนน้อยกว่า และไม่สามารถแยกอนุภาคได้ การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ โดยการเปรียบเทียบสารทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์กับแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าสภาวะที่ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดีที่สุดในช่วงความดันลด 1 ถึง 20 psi ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ คือที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แยกอนุภาคได้ 40% ส่วนของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แยกอนุภาคได้ 27% ซึ่งจากผลการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน ได้แก่ ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาค ความดันลดในการทำงาน และความเข้มข้นของสารป้อน ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยมีส่งผลร่วมกันต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน

คำสำคัญ : ไฮโดรไซโคลน อนุภาคระดับนาโน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต นาโนซิงค์ออกไซด์ กระบวนการแยกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II

Research Title: Separation process of nano calcium carbonate particle using hydrocyclone

Researcher: Assistant Professor Dr. Wanwilai Kraipech Evans

Faculty: Engineering Department: Chemical Engineering

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the separation performance of nano particle using two types of mini hydrocyclone; MZ and SWU hydrocyclones. The feed slurry were nano zinc oxide and nano calcium carbonate in water solution. The zinc oxide particles were in the average range of 50 nm. The calcium carbonate particle were in the average range of 730 nm. The solid concentrations of feed slurry in this work were 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 percent by volume, and the operating pressure drops were varied from 1 to 20 psi. The results showed that the MZ hydrocyclone demonstrated ability to clarify liquid with up to 40% clarification efficiency. The highest separation efficiency was found at operating pressure drop of 20 psi for 0.5 percent by volume of the feed slurry. An increase in pressure drop leads to increase the separation efficiency. However, SWU hydrocyclone could not provide any classification for all operating and concentration because the length of the SWU hydrocyclone is too short this causes an insufficient residence time in separation. The separation efficiency of MZ hydrocyclone has also been studied by comparing two test substances, zinc oxide and calcium carbonate. In this study, the optimum separation efficiency appears in the cases of feed concentration of 0.5% by volume (40% separation efficiency) and 1.5% by volume (27% separation efficiency), for zinc oxide and calcium carbonate, respectively. It can be concluded that the factors affecting the separation efficiency of hydrocyclone are size and density of the particle, operating pressure drop and feed concentration.

Keywords : Hydrocyclone Nanoparticle Nano calcium carbonate, Nano zinc oxide, Separation process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา ที่ให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินงานจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณ นายวันชัย เนียมแดง นายพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ให้การช่วยเหลือหรือให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แหล่งทุนวิจัย เริ่มต้นสำหรับอาจารย์ใหม่ กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรรณวิไล ไกรเพ็ชร เอวานส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 คำสำคัญของการวิจัย (ถ้ามี).....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	8
3.1 สารเคมี.....	8
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	8
3.3 วิธีการดำเนินงาน.....	11
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	14
4.1 ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับอัตราการไหล.....	14
4.2 ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคนาโนของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นของผสม.....	15
4.3 ตอนที่ 3 การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันลด อัตราการการป้อนของสารผสม และความเข้มข้นของสารป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน MZ.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	21
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	21
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	22
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	23
6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้.....	23
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	24
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก บทคัดย่อของงานวิจัยที่ผลิตได้.....	25
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน.....	27
ประวัตินักวิจัย.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงขนาดของไฮโดรไซโคลนที่ทำการทดลอง.....	9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของไฮโดรไซโคลน (Kraipech, 2002)	4
1.2 ลักษณะการไหลภายในไฮโดรไซโคลน (Kraipech, 2002)	4
3.1 ชุดทดลองไฮโดรไซโคลน	9
3.2 แผนภาพแสดงสัญลักษณ์บอกลักษณะของไฮโดรไซโคลน	10
3.3 ภาพแสดงไฮโดรไซโคลน ก) ไฮโดรไซโคลน MZ ข) ไฮโดรไซโคลน SWU	10
4.1 แสดงการเปรียบเทียบ capacity curve ของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด	14
4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยก ของ ไฮโดรไซโคลน SWU	15
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยก ของไฮโดรไซโคลน MZ	16
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกที่ ของไฮโดรไซโคลน MZ	17
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยก ของไฮโดรไซโคลน MZ	18
4.6 แสดงอัตราการไหลของของแข็งที่แยกโดยใช้ไฮโดรไซโคลน MZ	19
4.7 แสดงประสิทธิภาพในการคัดขนาดอนุภาคโดยใช้ไฮโดรไซโคลน MZ	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเหมืองแร่ น้ำมัน ปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหาร ฯลฯ ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกของผสมระหว่างของแข็ง-ของเหลว หรือของเหลวกับของเหลวที่ไม่ผสมกัน เช่น น้ำกับน้ำมัน เป็นต้น ไฮโดรไซโคลนจึงแบ่งออกได้สองชนิด คือ ไฮโดรไซโคลนที่ใช้แยก ของแข็งออกจากของเหลว (dewatering hydrocyclone) และไฮโดรไซโคลนที่แยกน้ำออกจากน้ำมัน (deoiling hydrocyclone) ตามหลักการแยกสารคือใช้ความต่างของความหนาแน่นของสารเป็นปัจจัยในการแยก ซึ่งค่าความต่างของความหนาแน่นของสารคู่แยกของแบบแรกจะมีค่าสูงกว่าแบบที่สอง โดยใช้หลักการเคลื่อนที่หนีศูนย์กลางของอนุภาคของของแข็งหรือของเหลวจากตัวพาของเหลว ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการแยกสารในอุตสาหกรรม ข้อดีของอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลนได้แก่ เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดกะทัดรัดทำให้ง่ายต่อการประกอบ การทำงาน และการบำรุงรักษา อุปกรณ์ไม่มีส่วนประกอบที่เคลื่อนที่จึงประหยัดพลังงาน และสามารถลดต้นทุนการผลิตเมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์แยกสารชนิดอื่น

ในปัจจุบันได้มีการใช้อนุภาคนาโนซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กมากในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น ชีวการแพทย์ วัสดุศาสตร์ อุตสาหกรรมอาหารและยา และเทคโนโลยีนาโนเป็นหนึ่งในเป้าหมายของการวิจัยระดับชาติ หนึ่งในหน่วยกระบวนการผลิตอนุภาคเหล่านี้คือกระบวนการแยกอนุภาค ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องเหวี่ยงแยกอนุภาคแบบหนีศูนย์กลาง(Centrifugal) ซึ่งเป็นเครื่องมือใช้แยกของเหลวออกจากของแข็งอนุภาคนาโนขนาดเล็ก โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การปั่นแยกตะกอน จึงต้องใช้เวลาานพอเพียงที่อนุภาคนาโนขนาดเล็กจะนอนก้นหมด ข้อเสียคือตัวอุปกรณ์ต้องมีการหมุนเหวี่ยง มีส่วนที่เคลื่อนที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และต้องมีการบำรุงรักษาเป็นประจำ ต้นทุนในการทำงานจึงสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำไฮโดรไซโคลนมาประยุกต์ใช้ในการแยกอนุภาคนาโนแทนเครื่องเหวี่ยงแยกอนุภาคแบบหนีศูนย์กลางในการงานวิจัยนี้จะใช้อนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตและนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นอนุภาคทดสอบการแยก โดยใช้ไฮโดรไซโคลน เพื่อหาขนาด รูปแบบของไฮโดรไซโคลน และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคนาโน เพื่อเป็นทางเลือกในกระบวนการแยกอนุภาคนาโนในอุตสาหกรรมนาโนเทคโนโลยี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตของไฮโดรไซโคลน

1.2.2 เพื่อเป็นทางเลือกในกระบวนการแยกอนุภาคนาโนในอุตสาหกรรมนาโนเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมยา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ไฮโดรไซโคลนประเภท dewatering รัศมีขนาด 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว ในการกระบวนการแยกอนุภาค

1.3.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ทำการทดลอง 50 นาโนเมตร

1.3.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลอง 0.73 ไมโครเมตร

1.3.4 ความดันลดที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 psi

1.3.5 ความเข้มข้นของสารละลาย 0.5-2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 รวบรวมข้อมูล ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบไฮโดรไซโคลนและคุณสมบัติของอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต นาโนอนุภาคซิงค์ออกไซด์

1.4.2 ประกอบชุดทดลองไฮโดรไซโคลนทั้งสองแบบ

1.4.3 ทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลนทั้งสองแบบ

1.4.4 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และแสดงผล

1.4.5 สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

ไฮโดรไซโคลน อนุภาคระดับนาโน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต นาโนซิงค์ออกไซด์ กระบวนการแยกสาร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ชนิดและขนาดของไฮโดรไซโคลนที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาคระดับนาโนและอนุภาคระดับไมครอน

1.7.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกอนุภาคระดับนาโนและไมครอนในอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

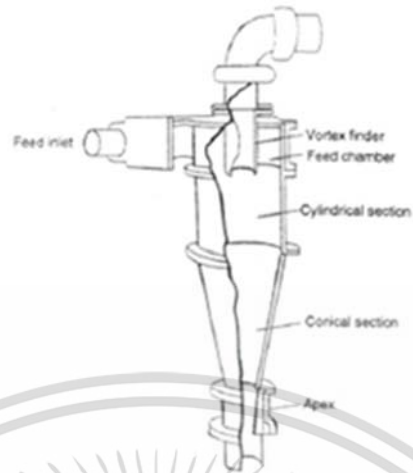
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย

หลักการแยกอนุภาคในไฮโดรไซโคลอนไม่สลับซับซ้อนและมีวิธีการแยกที่มีประสิทธิภาพ ภาพประกอบ 1 แสดงอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลอน ประกอบด้วยส่วนด้านบนซึ่งเป็นรูปทรงกระบอกต่อกับทางป้อนเข้าซึ่งอยู่ในทิศทางของเส้นสัมผัส เพิ่มต่อด้านล่างซึ่งเป็นกรวยโดยที่ปลายของกรวยเปิด (การไหลออกทางด้านล่าง) ท่อกระแสวนหรือการไหลออกทางด้านบน ติดอยู่ภายในของรูปทรงกระบอกด้านบนและอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ป้อนของไหล การป้อนของแข็งที่อยู่ในรูปของการผสมกับของเหลวและป้อนเข้าไปทางป้อนเข้าซึ่งจะทำให้เกิดการวนลงไป โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลว ของแข็งจะเคลื่อนที่ไปตามแนวผนังด้วยแรงหนีศูนย์กลางและม้วนเป็นวงลงสู่ทางไหลออกด้านล่างตรงส่วนปลาย เมื่อของไหลเข้าใกล้ศูนย์กลางจะมีทิศทางวนกลับและม้วนเป็นวงขึ้นไปออกจากตัวแยก ผ่านท่อกระแสวนทางด้านบน ผลกระทบดังกล่าวนี้ เกิดขึ้นตามแนวใจกลางของการวนของของไหลภายในจุดศูนย์กลางของเครื่องแยก ดังนั้น อนุภาคที่ใหญ่กว่าและหนาแน่นกว่าจะออกผ่านทางปลายด้านล่าง ขณะที่อนุภาคที่เล็กกว่าและหนาแน่นน้อยกว่าจะออกทางด้านบน สำหรับการออกแบบไฮโดรไซโคลอนที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะขึ้นอยู่กับประเภทของอนุภาคของแข็งด้วย

เมื่อป้อนสารแขวนลอยด้วยความดันสูงเข้าไปในไฮโดรไซโคลอน ของเหลวจะเกิดการไหลหมุนวน เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงกระทำต่ออนุภาคซึ่งมีผลทำให้อนุภาคถูกผลักให้ไหลไปติดผนังด้านข้างของไฮโดรไซโคลอน (primary vortex) อนุภาคขนาดต่างกัน หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันจะมีแรงสู่ศูนย์กลางต่างกัน ทำให้แยกออกจากกันได้ โดยอนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยจะเคลื่อนที่เข้าไปยังศูนย์กลาง (secondary vortex) และหมุนเป็นเกลียวขึ้นข้างบน ออกทางช่องทางออกด้านบน (Vortex finder) เรียกว่าการไหลด้านบน (overflow) ขณะที่อนุภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่เป็นเกลียวลงไปตามผนังของไฮโดรไซโคลอน และไหลออกทางช่องทางออกด้านล่าง (Spigot) เรียกว่าการไหลด้านล่าง (underflow) ดังแสดงในภาพประกอบ 2 และการไหลด้านล่างจะถูกปล่อยออกมาด้วยความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของไฮโดรไซโคลน (Kraipech, 2002)



ภาพที่ 1.2 ลักษณะการไหลภายในไฮโดรไซโคลน (Kraipech, 2002)

2.1.1 การใช้งานและข้อดีข้อเสียของไฮโดรไซโคลน

การใช้งานของไฮโดรไซโคลน

2.1.1.1 ใช้ในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวได้ เช่น

- การแยกอนุภาคของแข็งออกจากน้ำมันในกระบวนการผลิตน้ำมัน
- การแยกอนุภาคแข็งออกจากน้ำแป้ง
- การแยกอนุภาคของแข็งออกจากโคลนขุดเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแยกสินแร่จากสารละลายแขวนลอยในกระบวนการแต่งแร่

2.1.1.2 ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งให้สูงขึ้น และการทำให้ของไหลใสขึ้น ได้แก่

- การทำให้สารละลายแขวนลอยมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก่อนจะส่งไปเข้ากระบวนการดึงเอาของเหลวออก (deliquoring) อาทิเช่น การผลิตโพลีเมอร์ ถ่านหิน และ ยูเรีย

- การทำให้สารละลายแขวนลอยที่ได้จากการตกผลึก มีความเข้มข้นมากขึ้น อาทิ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกรดอะดิปิก (adipic acid) และการผลิตแอมโมเนียซัลเฟต

2.1.1.3 ใช้ในการคัดจำพวกของอนุภาค ซึ่งการใช้ไฮโดรไซโคลอนในงานประเภทนี้ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กจะติดออกไปกับของเหลวทางออกด้านบน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจะหลุดออกไปทางออกด้านล่างได้แก่

- การแยกอนุภาคที่หนักและหยาบที่ไม่ต้องการออกจากเชื้อกระดาษในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ

- การแยกขนาดอนุภาคที่ใหญ่เกินไปออกเช่น อุตสาหกรรมผลิตปูนขาว ดินขาวและเซรามิกซ์

- การแยกเอาวัตถุที่ละเอียดออกจากสารละลายแขวนลอยในการผลิตแร่ไปแท่งและอื่นๆ

- การคัดขนาดอนุภาคในกระบวนการตกผลึกสาร โดยปกติไฮโดรไซโคลอนจะถูกนำมาใช้แยกอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 4 - 600 ไมครอน ข้อดีอีกอย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดของไฮโดรไซโคลอนคือ การที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวจึงทำให้ไฮโดรไซโคลอนมีราคาถูกติดตั้งได้ง่าย และเสียค่าบำรุงรักษาน้อย

2.1.2 จากการศึกษางานวิจัย (Kraipech, 2002) ทำให้สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของไฮโดรไซโคลอนได้ดังนี้
ข้อดีของไฮโดรไซโคลอน

2.1.2.1 ไฮโดรไซโคลอนสามารถใช้ในการปฏิบัติการแยกสารได้หลายกระบวนการ

2.1.2.2 ไฮโดรไซโคลอนสามารถสร้างแรงเฉือนได้สูง เพื่อหยุดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มของสาร

2.1.2.3 ไฮโดรไซโคลอนเป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการใช้งานมีราคาถูกและง่ายต่อการติดตั้งและการบำรุงรักษา

2.1.2.4 ขนาดของไฮโดรไซโคลอนมีขนาดเล็ก ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง และอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลอนให้ residence times ในการแยกต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น เช่น Sedimentation

2.1.3 ข้อเสียของไฮโดรไซโคลอน

2.1.3.1 มีขีดจำกัดในการแยกเช่น ความดันในการปฏิบัติงาน และ Cut size อันเนื่องมาจากรูปทรงของไฮโดรไซโคลอน

2.1.3.2 มีความไม่ยืดหยุ่นในการติดตั้งและปฏิบัติงานของไฮโดรไซโคลอน

2.1.3.3 ง่ายต่อการสึกกร่อน เพราะว่ามีค่าความเร็วของสารป้อนสูง

ไฮโดรไซโคลนสามารถใช้ในการปฏิบัติการแยกสารได้หลายกระบวนการ มีหลายขนาดตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึงระดับเมตร ในการออกแบบไฮโดรไซโคลนให้เหมาะสมกับระบบแยกสารจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากไฮโดรไซโคลนขนาดที่เหมาะสมกับหนึ่งระบบการแยกสารจะไม่เหมาะสมกับการแยกสารในระบบที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดต่างกันกล่าวคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 และ 50 มิลลิเมตร นำมาทดสอบการแยกกับอนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กมากแต่มีความหนาแน่นต่างจากน้ำสูง โดยไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร เหมาะกับการแยกอนุภาคนาโนขนาดเล็กมากและมีความหนาแน่นแตกต่างจากน้ำน้อย ส่วนไฮโดรไซโคลนขนาด 50 มิลลิเมตร เหมาะสำหรับการแยกที่มีอนุภาคนาโนใหญ่กว่าและมีความหนาแน่นแตกต่างจากน้ำสูง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรไซโคลนนั้น ได้มีการทำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมและลักษณะการไหลภายในไฮโดรไซโคลนเพื่อที่จะนำไปสู่การปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคให้ดียิ่งขึ้น ผลงานวิจัยของ Phit (1971) สมการในการออกแบบจากงานวิจัยเหล่านี้ มีพื้นฐานมาจากการทดลองและสังเกตพฤติกรรมของไฮโดรไซโคลน และเกิดจากความสัมพันธ์ทางสถิติของข้อมูลจำนวนมาก แต่ก็ยังไม่สามารถอธิบายถึงพื้นฐานกลไกทางกายภาพ ของการไหลของของไหลในไฮโดรไซโคลนได้ เพราะสมการมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นข้อจำกัดและคุณสมบัติจำเพาะในแต่ละระบบดังนั้นสมการและค่าคงที่จำเพาะเหล่านี้จึงไม่สามารถใช้ในการออกแบบกับระบบของผสมอื่นได้

จากงานวิจัยของ Kraipech (2002) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบไฮโดรไซโคลน สมการการออกแบบจะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้ ต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลอง ได้แก่ ค่าคงที่ต่างๆ ในระบบไฮโดรไซโคลน ซึ่งปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้ ได้แก่ ความดันลด อัตราการไหล ขนาดของไฮโดรไซโคลน และ คุณสมบัติการไหลของสารป้อนการจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลในไฮโดรไซโคลนได้ทำการศึกษาโดยนักวิจัยหลายกลุ่มเช่น Kraipech (2002), Chine และ Concha (2000) วิธีนี้สามารถอธิบายถึงพื้นฐานกลไกทางกายภาพของการไหลในไฮโดรไซโคลนได้ ผลจากการจำลองการไหลนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลนได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองจริง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณ

มีนักวิจัยที่นำไฮโดรไซโคลนมาใช้แยกสารจุลชีวะโมเลกุลในกระบวนการทางชีวภาพได้แก่ Cillier and Harison (1996) Yuan et al. (1996) Rickwood et al. (1996) และ Evans et.al. (2015) การศึกษาผลของความหนืดที่มีผลต่อการแยกยีสต์จากสารละลายกลูโคสโดย Cillier and Harison (1996) โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร

พบว่า การแยกยีสต์ลดลงเมื่อความหนืดของสารผสมสูงขึ้น Yuan et al. (1996) ทำการทดลองแยกไนลอนพาวเดอร์ ยีสต์ทำหมักบั้ง ยีสต์หมักเบียร์ ในสารละลายกลูโคสโดยใช้ไฮโดรไซโคลนหลายขนาด พบว่า ไฮโดรไซโคลนที่แยกน้ำออกจากน้ำมัน (deoiling type hydrocyclone) ให้ผลการแยกได้ดีกว่า ไฮโดรไซโคลนชนิดอื่น Rickwood et al. (1996) ทำการทดลองใช้ไฮโดรไซโคลนที่ใช่แยก ของแข็งออกจากของเหลวขนาด 10 มิลลิเมตร (dewatering hydrocyclone) และไฮโดรไซโคลนที่แยกน้ำออกจากน้ำมัน (deoiling hydrocyclone) ขนาด 35 มิลลิเมตร แยก สารช่วยในการกรองจำพวก (Filtration aid) Kieselguhr ออกจากยีสต์ พบว่า ไฮโดรไซโคลนที่ใช่แยก ของแข็งออกจากของเหลว ให้ผลการแยกได้ดีกว่าไฮโดรไซโคลนที่แยกน้ำออกจากน้ำมัน (deoiling hydrocyclone) Evans et.al. (2015) ได้นำไฮโดรไซโคลน 2 ชนิด คือไฮโดรไซโคลนที่แยกน้ำออกจากน้ำมัน (deoiling hydrocyclone) ขนาด 11 มิลลิเมตร พัฒนาโดย Yuan et al. (1996) และ ไฮโดรไซโคลนที่ใช่แยก ของแข็งออกจากของเหลวขนาด 10 มิลลิเมตร ของ บ. Richard Mozley Ltd. มาทดสอบการแยกยีสต์ออกจากน้ำเบียร์ในกระบวนการผลิตจริงของบริษัทปทุมธานีเบเวอรี่ พบว่าไฮโดรไซโคลนทั้งสองชนิดมีความสามารถในการทำให้ใสเท่าๆกัน คือมี clarification efficiency ประมาณ 50% ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ของ บ. Richard Mozley Ltd. มีความสามารถในการแยกยีสต์กลับมาใช้ได้อีกมากกว่า และพบว่า การแยกยีสต์โดยใช้ความดันในการทำงานสูงขึ้นนั้น ไม่ได้ทำให้การแยกดีขึ้น แต่กลับส่งผลทำให้เกิดการผสมกันแทนที่จะแยกกัน เนื่องมาจากอนุภาคยีสต์มีความหนาแน่นน้อย ค่าคงที่ Time constant ต่ำ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของการไหลแบบปั่นป่วนมีค่าสูง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้ ใช้ชุดทดลองการหาประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน ประกอบด้วย อุปกรณ์ไฮโดรไซโคลน 2 ขนาด คือ 1.ไฮโดรไซโคลน SWU ขนาด 41.0 มิลลิเมตร 2.ไฮโดรไซโคลน ZM ขนาด 91.0 มิลลิเมตร โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.73 ไมโครเมตร และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50 นาโนเมตร ผสมน้ำเป็นสารป้อนที่ใช้ทำการทดลอง และทดลองที่ความดันลดในไฮโดรไซโคลนในช่วง 1 ถึง 20 psi ความเข้มข้นของสารผสมเท่ากับ 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% โดยปริมาตร

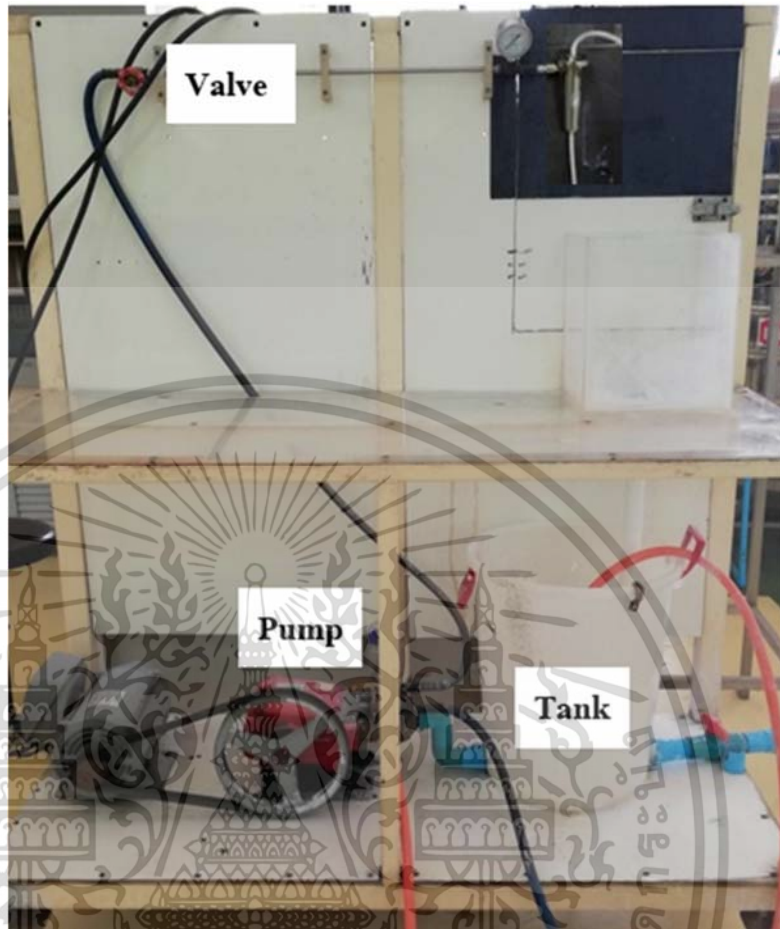
3.1 สารเคมี

- 1.แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.73 ไมโครเมตร
- 2.ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50 นาโนเมตร
- 3.น้ำที่อุณหภูมิห้อง

3.2 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

1. อุปกรณ์ไฮโดรไซโคลน
 - 1.1 ไฮโดรไซโคลน SWU ขนาด 41 มิลลิเมตร
 - 1.2 ไฮโดรไซโคลน MZ ขนาด 91 มิลลิเมตร
2. ชุดทดลองไฮโดรไซโคลน
 - 2.1 เกจวัดความดันสำหรับน้ำ ขนาด 0 – 60 psi
3. ถังพลาสติก ขนาด 40 ลิตร
4. เขี่ยกพลาสติก ขนาด 5 ลิตร
5. กระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
6. บีกเกอร์ ขนาด 1,500 มิลลิลิตร
7. ช้อนตักสาร
8. ขวดเก็บสารตัวอย่าง ขนาด 60 มิลลิลิตร
9. นาฬิกาจับเวลา CASIO
10. เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 0 – 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

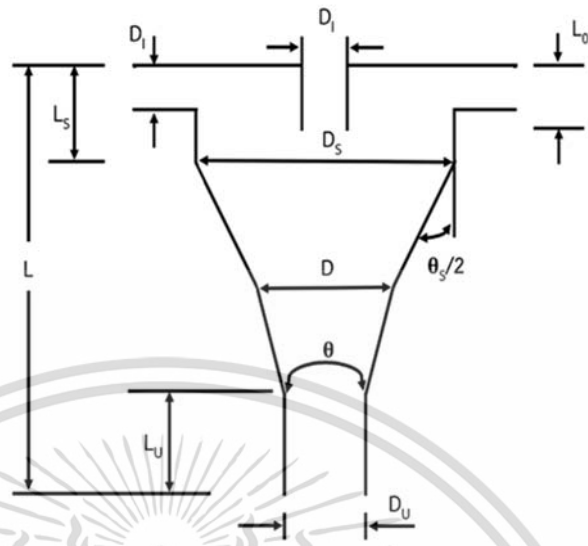


ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของไฮดรอลิกที่ทำการทดลอง

ขนาด(mm)	D	DS	DI	DO	DU	L	LS	LO	LU
MZ	10.0	10.0	2.2	2.0	2.0	90.0	0.0	4.0	0.0
SWU	10.0	10.0	2.24	2.6	2.0	41.0	-	4.0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงสัญลักษณ์บอกลักษณะของไฮโดรไซโคลน



ก)

ข)

ภาพที่ 3.3 ภาพแสดงไฮโดรไซโคลน ก) ไฮโดรไซโคลน MZ ข) ไฮโดรไซโคลน SWU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินงาน

ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับอัตราการไหล (capacity curve)

วิธีการทดลอง

3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน capacity curve

3.3.1.1 ทำการติดตั้งไฮโดรไซโคลน SWU ขนาด 41 มิลลิเมตร

3.3.1.2 เตรียมน้ำจำนวน 20 ลิตร เทลงในถังพลาสติกขนาด 40 ลิตร เพื่อเตรียมทำการทดลอง

3.3.1.3 เปิดปั๊ม เพื่อสูบน้ำเข้าสู่ระบบ

3.3.1.4 เปิดวาล์ว 1 อย่างช้าๆ เพื่อให้ น้ำไหลเข้าไฮโดรไซโคลน และปรับวาล์วจนความดันลดได้ 1 psi รอจนสถานะคงที่

3.3.1.5 นำกระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำ ที่ไหลออกทางด้านบนและด้านล่างของไฮโดรไซโคลน พร้อมกับจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง

3.3.1.6 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.1.4 – 1.1.7 แต่เปลี่ยนความดันลดเป็น 3, 5, 10, และ 20 psi

3.3.1.7 นำอัตราการไหล ที่ได้จากการวัดด้วยกระบอกตวงและที่ได้จากการอ่านค่าด้วยโรตاميเตอร์มา สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับอัตราการไหล (capacity curve)

3.3.1.8 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.1.1 – 1.1.7 แต่เปลี่ยนไฮโดรไซโคลนเป็นไฮโดรไซโคลน MZ

ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันลด อัตราการป้อนสารผสม และความเข้มข้นของสาร

ป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารผสม

วิธีการทดลอง

3.3.2.1 การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันลด อัตราการป้อนสารผสมและความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการแยกซิงค์ออกไซด์โดยใช้ไฮโดรไซโคลน

3.3.2.1.1 ทำการติดตั้งไฮโดรไซโคลน SWU

3.3.2.1.2 นำสารละลาย แคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เทลงในถังขนาด 40 ลิตร และเก็บสารละลายซิงค์ออกไซด์ปริมาตร 60 ml

3.3.2.1.3 เปิดปั๊มเพื่อสูบสารละลายเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1.4 เปิดวาล์ว 1 อย่างช้า ๆ เพื่อให้สารละลายไหลเข้าไฮโดรไซโคลนและปรับวาล์วจนความดันลดได้ 1 psi รอกจนสถานะคงที่

3.3. 2.1.5 นำกระบอกตวงวัดปริมาตรของสารละลายที่ไหลออกทางด้านบนและด้านล่างของไฮโดรไซโคลน พร้อมกับจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง เก็บตัวอย่าง

3.3. 2.1.6 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.1.4 – 2.1.5 แต่เปลี่ยนความดันลดเป็น 3, 5, 10, 15, และ 20 psi

3.3. 2.1.7 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.1.2 – 2.1.6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

3.3.2.1.8 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.1.1 – 2.1.7 แต่เปลี่ยนไฮโดรไซโคลนเป็นไฮโดรไซโคลน MZ

ตอนที่ 3 การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันลด อัตราการการป้อนของสารผสม และความเข้มข้นของสารป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน MZ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยใช้สารป้อน 2 ชนิดได้แก่ สารผสม แคลเซียมคาร์บอเนตกับน้ำ และ สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับน้ำ

วิธีการทดลอง

3.3.3.1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกระบวนการแยกซิงค์ออกไซด์โดยการใช้ไฮโดรไซโคลน

3.3.3.1.1 ทำการติดตั้งไฮโดรไซโคลน MZ

3.3.3.1.2 นำสารละลาย แคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เทลงในถังขนาด 40 ลิตร และเก็บสารละลายซิงค์ออกไซด์ปริมาตร 60 ml

3.3.3.1.3 เปิดปั๊มเพื่อสูบสารละลายเข้าสู่ระบบ

3.3.3.1.4 เปิดวาล์ว 1 อย่างช้า ๆ เพื่อให้สารละลายไหลเข้าไฮโดรไซโคลนและปรับวาล์วจนความดันลดได้ 1 psi รอกจนสถานะคงที่

3.3.3.1.5 นำกระบอกตวงวัดปริมาตรของสารละลายที่ไหลออกทางด้านบนและด้านล่างของไฮโดรไซโคลน พร้อมกับจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง เก็บตัวอย่าง

3.3.3.1.6 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.1.4 – 3.1.5 แต่เปลี่ยนความดันลดเป็น 3, 5, 10, 15, และ 20 psi

3.3.3.1.7 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.1.2 – 3.1.6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.3.3.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิผลในกระบวนการแยกแกลกซีมคาร์บอนेटโดยการใช้ไฮโดรไซโคลน

3.3.3.2.1 ทำการติดตั้งไฮโดรไซโคลน MZ ขนาด

3.3.3.2.2 นำสารละลาย แกลกซีมคาร์บอนेट 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เทลงในถังขนาด 40 ลิตร และเก็บสารละลายแกลกซีมคาร์บอนेटปริมาตร 60 ml

3.3.3.2.3 เปิดปั๊มเพื่อสูบสารละลายเข้าสู่ระบบ

3.3.3.2.4 เปิดวาล์ว 1 อย่างช้า ๆ เพื่อให้สารละลายไหลเข้าไฮโดรไซโคลนและปรับวาล์วจนความดันลดได้ 1 psi รอจนสภาวะคงที่

3.3.3.2.5 นำกระบอกตวงวัดปริมาตรของสารละลายที่ไหลออกทางด้านบนและด้านล่างของไฮโดรไซโคลน พร้อมกับจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง เก็บตัวอย่าง

3.3.3.2.6 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.1.4 – 3.1.5 แต่เปลี่ยนความดันลดเป็น 3, 5, 10, 15, และ 20 psi

3.3.3.2.7 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.1.2 – 3.1.6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

บทที่ 4

ผลการวิจัย

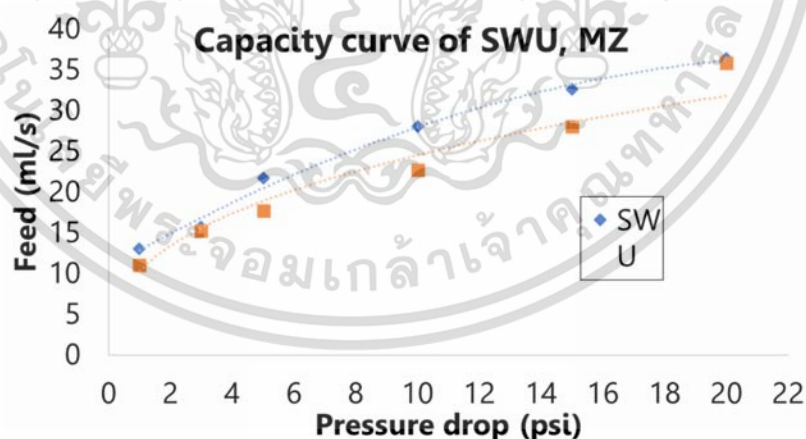
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน 2 ขนาด ได้แก่ MZ และ SWU ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1.การทดลองเพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหล (capacity curve) 2.การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคนาโนของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ชนิด โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นของผสม 3.การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันตก อัตราการการป้อนของสารผสม และความเข้มข้นของสารป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน MZ โดยใช้สารป้อน 2 ชนิด ได้แก่ สารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตกับน้ำ และ สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับน้ำ

ในการทดลอง ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50 นาโนเมตร ผสมกับน้ำเป็นสารผสม และ ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.73 ไมครอน ผสมกับน้ำเป็นสารผสม ทำการทดลองที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความดันตกตั้งแต่ 1, 3, 5, 10, 15 และ 20 psi

ผลการดำเนินงาน

4.1 ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหล (capacity curve)

ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ capacity curve ของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ น้ำ RO เป็นสารทดสอบ ทำการทดลองที่ความดันตก 1, 3, 5, 10, 15 และ 20 psi ดังกราฟที่ 1

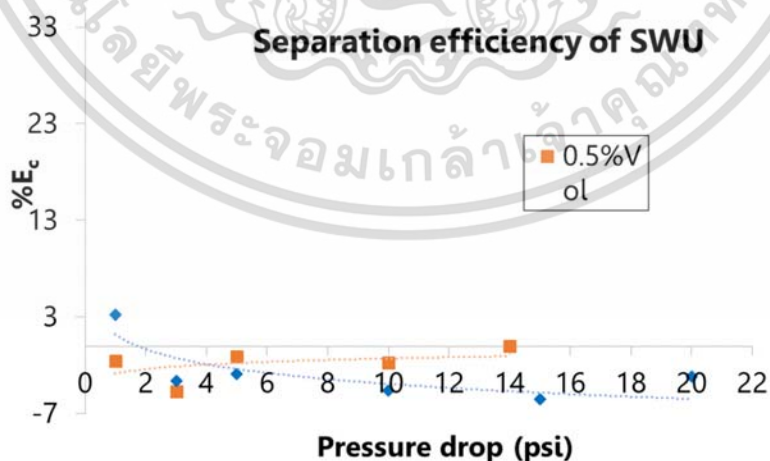


ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบ capacity curve ของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ น้ำ RO เป็นสารทดสอบ จาก รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบ capacity curve ของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ น้ำ RO เป็นสารทดสอบ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหลของไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด พบว่า ไฮโดรไซโคลนทั้ง 2 ขนาด ให้ผลในการทำงานเดียวกัน โดยแตกต่างกันเล็กน้อยดังนี้

ในช่วงความดันเริ่มต้น ที่ความดัน 1 psi อัตราการไหลของไฮโดรไฮโคลนทั้ง 2 ขนาด มี ค่าใกล้เคียงกัน ที่ความดัน 1 psi อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน MZ เท่ากับ 11.00 มิลลิลิตรต่อวินาที อัตราการไหลเข้าของไฮโดรไฮโคลน SWU เท่ากับ 13.00 มิลลิลิตรต่อวินาที เนื่องจากที่ความดันต่ำ ลักษณะการไหลของของผสมภายในไฮโดรไฮโคลนยังไม่สมบูรณ์ (fully developed) ในช่วงความดันตั้งแต่ 5 – 15 psi อัตราการไหลทางเข้าเริ่มมีการแตกต่างกัน เมื่อความดันลดเข้าสู่ 5 psi โดย อัตราการไหลเข้าของไฮโดรไฮโคลน MZ เท่ากับ 17.70 มิลลิลิตรต่อวินาที อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน SWU เท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อวินาที เนื่องจากไฮโดรไฮโคลน SWU มีขนาดของทางออกด้านบน (overflow) มากกว่าไฮโดรไฮโคลน MZ จึงทำให้อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน SWU มากกว่าอัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน MZ และอัตราการไหลทางเข้าของของไหลแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น จนถึง ที่ความดันลด 20 psi อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน SWU เท่ากับ 36.40 มิลลิลิตรต่อวินาที อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลน MZ เท่ากับ 35.80 มิลลิลิตรต่อวินาที อัตราการไหลทางเข้าของทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นจากความดันลด 1 psi และจากภาพที่ 4.1 สรุปได้ว่า การเพิ่มความดันลดทำให้อัตราการไหลทางเข้าของไฮโดรไฮโคลนเพิ่มขึ้นตามด้วย และอัตราการไหลของของไหลภายในไฮโดรไฮโคลน SWU ดีกว่าอัตราการไหลของของไหลภายในไฮโดรไฮโคลน MZ

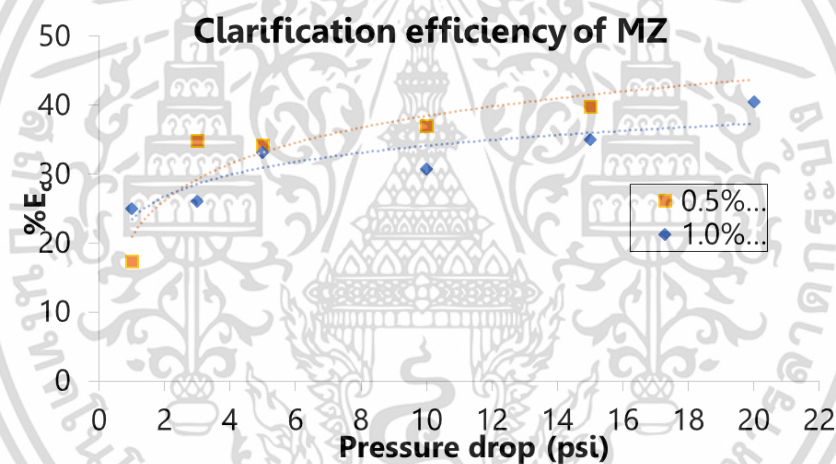
4.2 ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคนาโนของไฮโดรไฮโคลนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นของผสม

ตอนที่ 2.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการแยก (separation efficiency) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ของสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของอนุภาคองไฮโดรไฮโคลน SWU ได้ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi ของ ไฮโดรไฮโคลน SWU

จากภาพที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน SWU ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi จากภาพที่ 4.2 พบว่าที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดันตั้งแต่ 1-20 psi ไฮโดรไซโคลน SWU ไม่สามารถแยกอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ เนื่องจากไฮโดรไซโคลน SWU มีระยะเวลาในการเกิดการแยก (residence time) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์น้อย เพราะความยาว (L) ของไฮโดรไซโคลน SWU เท่ากับ 41.0 มิลลิเมตร จึงทำให้มีระยะเวลาไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เกิดการหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลนแล้วเกิดการแยก จึงทำให้ความเข้มข้นของของผสมสายป้อนกับสายออก (อันเดอร์โฟลและโอเวอร์โฟล) มีค่าเท่ากัน ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน MZ ได้ดังภาพที่ 4.3

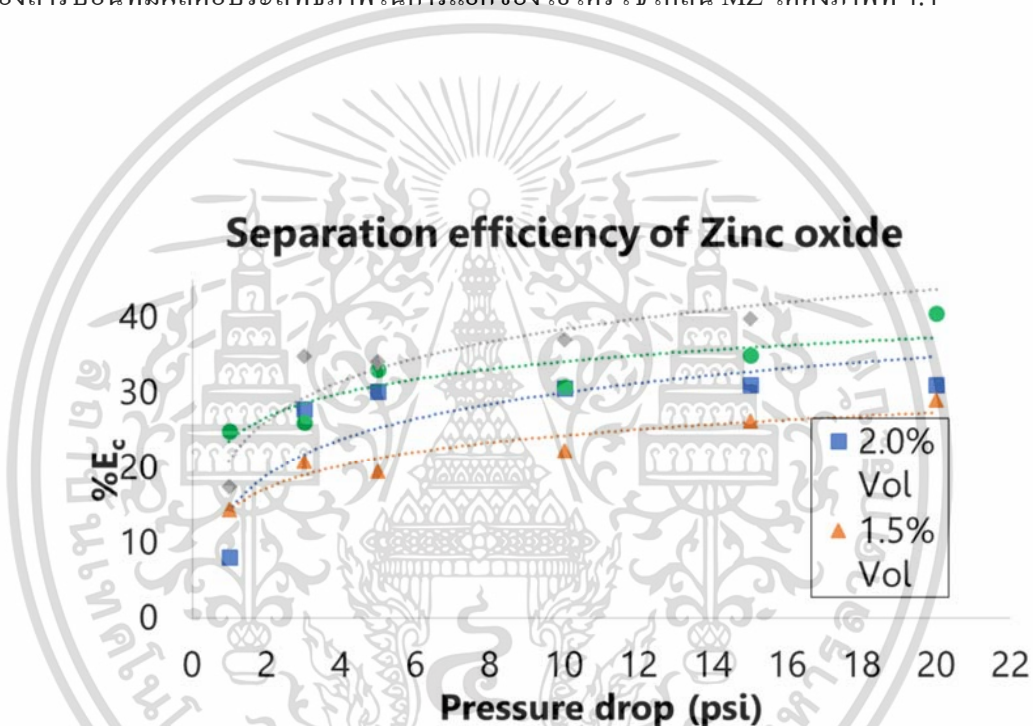


ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi ของไฮโดรไซโคลน MZ

จากภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi จากภาพที่ 4.3 พบว่าไฮโดรไซโคลน MZ สามารถแยกอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ และเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดันลด 3-15 psi มีประสิทธิภาพในการแยกมากกว่าที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.3 ตอนที่ 3 การทดลองเพื่อหาผลของค่าความดันลด อัตราการการป้อนของสารผสม และความเข้มข้นของสารป้อน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลน MZ โดยใช้สารป้อน 2 ชนิดได้แก่ สารผสมแคลเซียมคาร์บอเนต(ความหนาแน่น 2.71 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดเฉลี่ย 0.73 ไมโครเมตร)กับน้ำ และ สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์(ความหนาแน่น 5.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดเฉลี่ย 50 นาโนเมตร)กับน้ำ

ตอนที่ 3.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพของการแยก (separation efficiency) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของสารผสมซิงค์ออกไซด์ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ ได้ดังภาพที่ 4.4



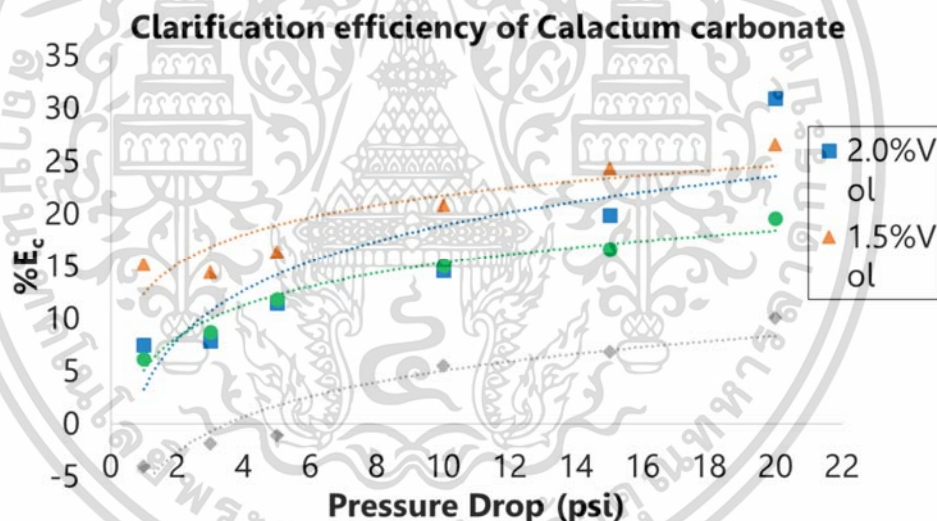
ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi ของไฮโดรไซโคลน MZ

จากภาพที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดันลด และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi จากภาพที่ 4.4 พบว่าไฮโดรไซโคลน MZ สามารถแยกสารผสมซิงค์ออกไซด์ได้ และเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารป้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการแยกดีที่สุด ในช่วงความดันลดที่ 1-20 psi เนื่องจากเมื่อสารป้อนมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะมีปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีมากขึ้น จึงเกิดแรงกระทำระหว่างอนุภาคมากขึ้น (particle interaction) สารผสมมีความ

หนืดมากขึ้น ทำให้ต้องใช้ความดันสูง เพื่อที่จะให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกสารเพิ่มขึ้น และเนื่องจากซึ่งอนุภาคนาโนซึ่งคอลลอยด์มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำประมาณ 5 เท่า การเพิ่มความเข้มข้นจึงมีผลต่อแรงที่เกิดขึ้นในการแยกอนุภาค จากภาพที่ 4.4 พบว่าที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดัน 5 psi จะมีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคนาโนซึ่งคอลลอยด์เท่ากับ ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความดัน 20 psi แสดงว่าถ้าทำการทดลองโดยการเพิ่มความดันขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อาจจะสามารถแยกได้ดีกว่าที่ความดัน 20 psi จากผลการทดลองในตอนนี้อาจสรุปได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกของสารผสมที่มีความเข้มข้นมากทำได้โดยการเพิ่มความดันในการทำงาน

ตอนที่ 3.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพของการแยก (separation efficiency) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความดัน และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ ได้ดังรูปที่ 4.5



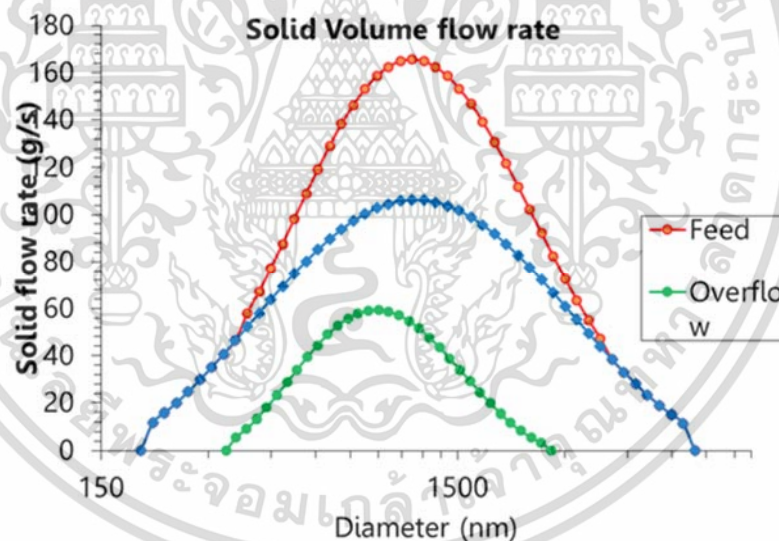
ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi ของไฮโดรไซโคลน MZ

จากภาพที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดัน และความเข้มข้นของสารป้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลน MZ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-20 psi จากภาพที่ 4.5 พบว่าไฮโดรไซโคลน MZ สามารถแยกสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตได้ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1-5 psi ไฮโดรไซโคลน MZ ไม่สามารถแยกสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตได้ เนื่องจากความดันต่ำเกินไป แต่ที่ความดันมากกว่า 3 psi สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตได้ สังเกตจากรูปที่ 1.5 และที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในช่วงความดัน 1-20 psi มีประสิทธิภาพในการแยกดีที่สุด สารป้อนที่ความเข้มข้นต่ำ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นั้น มีประสิทธิภาพในการแยกต่ำ เนื่องจากขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดเล็กและเบา (ขนาด 0.73 ไมโครเมตร และความหนาแน่นมากกว่าน้ำประมาณ 2.7 เท่า) ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตประพฤติตัวเหมือนน้ำ โดยแรงลาก (Drag force) ที่ทำต่ออนุภาคมีค่าสูงกว่าแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการแยกอนุภาค เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารผสมมีความหนืดขึ้น แรงกระทำระหว่างอนุภาคมีมากขึ้น ทำให้ผลของแรงลาก (Drag force) ที่ทำต่ออนุภาคมีค่าลดลง ในกรณีนี้การเพิ่มความเข้มข้นจึงช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการแยกดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่สารผสมความเข้มข้นสูงเกินไปแทนที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการแยกดี กลับส่งผลตรงกันข้ามเนื่องจากจำนวนอนุภาคที่สูงขึ้นส่งผลให้อนุภาคไปรวมตัวกันที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน เรียกว่าเกิดการ Crowded และทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง

ตอนที่ 3.3 ผลการทดลองแสดงอัตราการไหลของของแข็งใน Feed, Overflow, Underflow ของไฮโดรไซโคลอน MZ ที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดันลด 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ดังภาพที่ 4.6

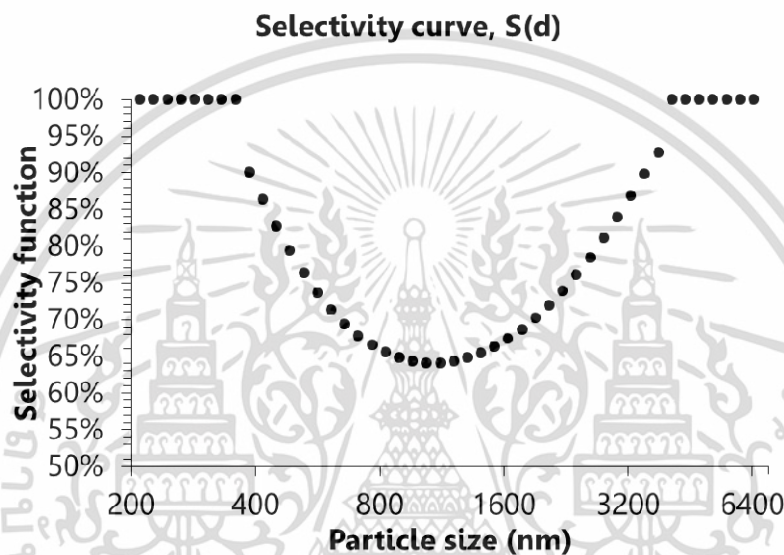


ภาพที่ 4.6 แสดงอัตราการไหลของของแข็งที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้ไฮโดรไซโคลอน MZ

จากภาพที่ 4.6 แสดงอัตราการไหลของของแข็งที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้ไฮโดรไซโคลอน MZ พบว่า อัตราการไหลของของแข็งใน Underflow มีขนาดอนุภาคทุกขนาด ส่วนใน Overflow มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 300 ถึง 2500 นาโนเมตร เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงประสิทธิภาพในการคัดขนาดอนุภาค ที่ ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดันลด 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ไฮโดรไซโคลน MZ จากภาพที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการคัดขนาดอนุภาค ที่ ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดันลด 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ไฮโดรไซโคลน MZ พบว่าในช่วงที่ขนาดอนุภาค 400 – 800 นาโนเมตร อนุภาคขนาดเล็กแทรกติดไปกับอนุภาคขนาดใหญ่ที่ไหลลงสู่ทางออกด้านล่างจึงทำให้อนุภาคขนาดเล็กที่อยู่กับอนุภาคขนาดใหญ่ติดกันออกมาด้วย



ภาพที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการคัดขนาดอนุภาค ที่ ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดันลด 20 psi ของสารผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ไฮโดรไซโคลน MZ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลอน 2 ชนิด ได้แก่ ไฮโดรไซโคลอน SWU และไฮโดรไซโคลอน MZ โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนโดยใช้สารผสม 2 ชนิด ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50 นาโนเมตรและแคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.73 ไมโครเมตร ผสมกับน้ำเป็นสารผสม ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และทำการทดลองที่ ความดันลดตั้งแต่ 1, 3, 5, 10, 15 และ 20 psi

ผลที่ได้นำเสนอในลักษณะกราฟแสดงความสัมพันธ์ของไฮโดรไซโคลอนกับความเข้มข้น และวิเคราะห์ผลที่ได้จากกราฟดังเสนอในบทที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบ Capacity curve ของไฮโดรไซโคลอนทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ น้ำ RO เป็นสารทดสอบ พบว่า ไฮโดรไซโคลอน SWU ให้อัตราการไหลทางเข้าดีที่สุด ซึ่งอัตราการไหลต่ำสุดที่ 1 psi เท่ากับ 13.00 มิลลิลิตรต่อวินาที และอัตราการไหลสูงสุดที่ 20 psi เท่ากับ 36.40 มิลลิลิตรต่อวินาที และไฮโดรไซโคลอน MZ อัตราการไหลต่ำสุดที่ 1 psi เท่ากับ 11.00 มิลลิลิตรต่อวินาที และอัตราการไหลสูงสุดที่ 20 psi เท่ากับ 35.80 มิลลิลิตรต่อวินาที

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลอนทั้ง 2 ขนาด ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นของสารผสม พบว่า ไฮโดรไซโคลอน SWU ไม่สามารถทำการแยกอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ แต่ไฮโดรไซโคลอน MZ สามารถทำการแยกอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ ประสิทธิภาพในการแยกต่ำสุดอยู่ที่ 20 % สูงสุดที่ 40 %

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลอน MZ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารผสม พบว่า ไฮโดรไซโคลอน MZ มีประสิทธิภาพในการแยกซิงค์ออกไซด์สูงสุดที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผลการทดลองในตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกของสารผสมที่มีความเข้มข้นมากทำได้โดยการเพิ่มความดันลดในการทำงาน และมีประสิทธิภาพในการแยกแคลเซียมคาร์บอเนตสูงสุดที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากสารผสมมีความหนืดขึ้น แรงกระทำระหว่างต่ออนุภาคมีมากขึ้น ทำให้ผลของแรงลาก (Drag force) ที่ทำต่ออนุภาคมีค่าลดลง ในกรณีนี้การเพิ่มความเข้มข้นจึงช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการแยกดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่สารผสมความเข้มข้นสูงเกินไปแทนที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการแยกดี กลับส่งผลตรงกันข้าม

เนื่องจากจำนวนอนุภาคที่สูงขึ้นส่งผลให้อนุภาคไปรวมตัวกันที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลอน และทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลอนมีดังนี้

1. ทำการเปลี่ยนชนิดของอนุภาคทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของไฮโดรไซโคลอน
2. ทำการออกแบบให้ความยาวของไฮโดรไซโคลอนมีหลายๆ ขนาด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแยกที่ความยาวต่างๆ
3. ทำการเปลี่ยนความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของผลสมในการทดสอบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการแยกที่ความเข้มข้นอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย บทความวิจัยชื่อเรื่อง

Separation of Nano Particles using Mini Hydrocyclones

คณะผู้วิจัย

Wanwilai K. Evans* and Prakob Kitchaiya

6.1.1 ส่งบทความเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

The 14th International Conference on Chemical and Process Engineering, 26-29 May, 2019 - Bologna, Italy.

(ICheaP-14) บทความ (ภาคผนวก ก) ได้รับการตอบรับ อยู่ในระหว่างจัดทำโปสเตอร์

จัดโดย

The Italian Association of Chemical Engineering

อยู่ในฐานข้อมูลของ SCOPUS citation

The quality of this publication is valued by ISBN & ISSN numbers, reference by SCOPUS citation indexes.

6.1.2 ส่งตีพิมพ์ลงใน วารสารวิชาการระดับนานาชาติ CET "Chemical Engineering Transactions".

บทความ (ภาคผนวก ก) ได้รับการตอบรับ อยู่ในระหว่างจัดบทความฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

- B.Chine and F.Concha, Flow patterns in conical and cylindrical hydrocyclones. *Chemical Engineering Journal*, 2000; 80, 267-273.
- L. R. Plitt, The analysis of solid–solid separations in classifiers. *CIM Bulletin* 64, 708(1971), 42– 47.
- W. Kraipech, Study of the performance of industrial hydrocyclones. Ph.D. Thesis. UMIST. England, 2002
- W. K. Evans, P. Onkaew and B. Heunghok, An Application of Small Hydrocyclones for Separating Yeast in the Brewing Industry, *Asian Journal of Engineering and Technology* (ISSN: 2321 – 2462) Volume 03 – Issue 03, June 2015.
- J. J. Cilliers and S. T. L. Harrison, The effect of viscosity on the recovery and concentration of micro-organisms using mini-hydrocyclones, in *Hydrocyclone' 96*, Edited by D. Claxton, L. Svarovsky and M. Thew, Mechanical Engineering Publications Limited, UK (1996).
- H. Yuan, M. T. Thew and D. Rickwood, Separation of yeast with hydrocyclones, in *Hydrocyclone' 96*, Edited by D. Claxton, L. Svarovsky and M. Thew, Mechanical Engineering Publications Limited, UK (1996).
- D. Rickwood, G. J. Freeman and M. McKechnie, An assessment of hydrocyclones for recycling Kieselguhr used for filters in the brewing industry, in *Hydrocyclone' 96*, Edited by D. Claxton, L. Svarovsky and M. Thew, Mechanical Engineering Publications Limited, UK (1996).
- S. Pongsantia, U. Nontakaew and P. Narataruksa, Prediction of the optimum flow patterns in a mini-hydrocyclone for yeast recovery application by using Computational Fluid Dynamic technique. In *Proceedings of the third Regional Conference on Energy Technology towards a Clean Environment (RCETCE) 1-3 December (2004) Thailand*.

ภาคผนวก ก

Separation of Nano Particles using Mini Hydrocyclones

Wanwilai K. Evans* and Prakob Kitchaiya

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung 1, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand, tel. +668 69998908, fax: +662 3298360

* Corresponding author: wanwilai.ev@kmitl.ac.th

The aim of this research is to investigate the separation performance of nano particles using two types of mini hydrocyclone; MZ and SWU hydrocyclones. The feed slurry were nano zinc oxide and nano calcium carbonate in water solution. The zinc oxide particle size was in the average range of 50 nm. The calcium carbonate particle size was in the average range of 730 nm. The solid concentrations of feed slurry in this work were 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 percents by volume, and the operating pressure drops were varied from 1 to 20 psi. The results showed that the MZ hydrocyclone could clarify liquid with up to 40% clarification efficiency. The highest separation efficiency was obtained at operating pressure drop of 20 psi for 0.5 percents by volume of the feed slurry. An increase in pressure drop leads to increase the separation efficiency. However, SWU hydrocyclone could not provide any classification for all operating and concentration because the length of the SWU hydrocyclone is too short and this causes an insufficient residence time in separation. The separation efficiency of MZ hydrocyclone had also been studied by comparing two test substances, zinc oxide and calcium carbonate. The optimum separation efficiency appeared in the cases of feed concentration of 0.5% by volume (40% separation efficiency) and 1.5% by volume (27% separation efficiency), for zinc oxide and calcium carbonate, respectively. It can be concluded that the factors affecting the separation efficiency of hydrocyclone are size and density of the particle, operating pressure drop and feed concentration.

Key words: Hydrocyclone, Nano particle, Separation process

HOME LOGOUT

My personal Page **My Submission**

(Please avoid that the e-mail icheap14@aidic.it is junked by your system)

#submission id: 390
 TITLE SEPARATION OF NANO PARTICLES USING MINI HYDROCYCLONES
 Evaris W., Kitchaiya P.
 status : FS
 format: PA
 corr. Author: Evans Wanwilai
 Registered by: none

My Profile
 My Submission
 Full Paper Submission
 See Review
 Revised Paper Submission
 Help

212Days to GO

AIDIC

LEGENDA

AR	Abstract received
FS	Abstract accepted, Full paper to be submitted
REV	Full Paper under Review
FAR	Full paper accepted, Revised paper to be submitted
FINAL	Final Revision received
<blank>	To be defined
O	Lecture
OA	Lecture proposed by the Author(acceptance pending)
P	Poster
PA	Poster proposed by the Author(accepted)
PL	Plenary Lecture
KL	Keynote Lecture
W	Withdrawn

Registered by
 The indicated person paid the fee of the paper otherwise "none"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน โครงการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2561

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) กระบวนการแยกอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้ไฮโดรไซโคลอน
(ภาษาอังกฤษ) Separation process of nano calcium carbonate particle using hydrocyclone

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรณวิไล โกรเพ็ชร เอวานส์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2561

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2561

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 95,000 บาท 95 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 60/12/27

งวดที่ 2 5,000 บาท 5 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) -

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย (

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	60,000	60,834.02	834.02
ค่าวัสดุ	40,000	40,588.03	588.03
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	100,000	101,422.05	1,422.05

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรณวิไล โกรเพ็ชร เอวานส์)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

/ /

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.....
(.....)
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อ
/ /
.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางวรรณวิไล ไกรเพชร เอวานส์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Chemical Engineering	University of Manchester, Institute of Science and Technology	2002
M.Sc.(Engineer)	Chemical Engineering	University of Leeds	1998
วศ.บ.	วิศวกรรมเคมี เกียรตินิยมอันดับ 2	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2539

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) Chemical Engineering, Computational Fluids Dynamic, Finite volume Method, Finite element Analysis, Fuel cell STEM education

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2555	รางวัลนักวิจัยผู้มีผลงานดีเด่นจากการจัดสิทธิบัตร ปี 2555	มศว

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2539	นักเรียนทุนรัฐบาลไทย	รัฐบาลไทย
2001	Peter Alan Scholarship from University of Manchester, Institute of Science and Technology in 1999 and 2001	University of Manchester, Institute of Science and Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Nowakowski, A. F., Kraipech, W., Williams, R. A. and Dyakowski, T. (2000) The hydrodynamics of a hydrocyclone based on a three-dimensional multi-continuum model, **Chemical Engineering Journal**, Vol. 80, pp. 275-282.
2. Kraipech, W., Chen, W., Parma, F. and Dyakowski, T. (2002) Modelling the fish-hook effect of the flow within hydrocyclones, *International Journal of Mineral Processing*, Vol.66, Issue 1-4, pp. 49-65.
3. A.F.Nowakowski, W.Kraipech, T.Dyakowski (2003). Performance of Some Finite elements in Numerical vSimulation of Complex Three Dimensional Flow, *Lecture Notes in Applied Mechanics*, Vol. 12, pp. 155-161.
4. Doby, M. J., Kraipech, W. and Nowakowski, A. F. (2005). Numerical prediction of outlet velocity patterns in solid-liquid separators, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 111, Issues 2-3, 15 August 2005, pp. 173-180.
5. Kraipech, W., Nowakowski, A. F., Dyakowski, T. and Suksangpanomrung, A. (2005) An influence of the particle-fluid and particle-particle interactions on the separation performance of a hydrocyclone, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 111, Issues 2-3, 15 August 2005, pp. 189-197.
6. Kraipech, W., Dyakowski, T., Chen, W. and Nowakowski, A. F. (2006) The performance of the empirical models on industrial hydrocyclone design, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 80/2-4, pp. 100-115.
7. Evans, Kraipech, W., Suksangpanomrung, A. and Nowakowski (2008) The simulation of the flow within a hydrocyclone operating with an air core and with an inserted metal rod, *Chemical Engineering Journal* 143 (2008) 51-61.
8. Wanwilai Kraipech Evans, Korakot Rattanakornkarn, Anotai Suksangpanomrung and Sumittra Charojrochkul (2011) The simulation of tubular solid oxide fuel cells (SOFCs) *Chemical Engineering Journal*, Vol. 168, pp. 1301-1310.
9. Wanwilai Kraipech Evans, Pongprawut Onkaew and Boonrit Heunghok, An Application of Small Hydrocyclones for Separating Yeast in the Brewing Industry, **Asian Journal of Engineering and Technology (ISSN: 2321 – 2462)** Volume 03 – Issue 03, June 2015.
10. Wanwilai Kraipech Evans (2018), The Study of the Effect of Coal Feeding Pattern on Combustion Efficiency in Pulverized Coal Combustion using CFD Technique, *Chemical Engineering Transaction*, 70, p 301.

การเสนอผลงานวิชาการ

11. Nowakowski, A. F., Kraipech, W., Williams, R. A. and Dyakowski, T. (1999) The hydrodynamics of a hydrocyclone based on a three-dimensional multi-continuum model, Proceedings of the Engineering Foundation Conference Solid-Liquid Separation Systems, Oahu, Hawaii, USA, April 18-23.
12. Dyakowski, T., Nowakowski, A. F., Kraipech, W. and Williams, R. A. (1999) A three dimensional simulation of hydrocyclone behaviour, Proceedings of the 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Australia, December 6-8.
13. Kraipech, W., Chen, W. and Parma, F. (2000) Prediction of hydrocyclone performances – How much can the models do?, Proceedings of the American Filtration and Separation Society Annual Conference, Myrtle Beach, SC, USA, March 14-17.
14. Kraipech, W., Chen, W., Parma, F. and Dyakowski, T. (2001) Modelling the fish-hook effect of the flow within hydrocyclones, Proceedings of the Science and Technology of Filtration and Separations for the 21st Century, American Filtration and Separation Society 14th Annual Technical Conference and Exposition, Hyatt Regency Tampa, FL, USA, May 1-4.
15. Nowakowski, A. F., Kraipech, W., Dyakowski, T. and Williams, R. A. (2002) A 3D numerical simulation of hydrocyclone flow pattern using finite element approach, Proceedings of the 4th World Congress on Particle Technology, Sydney, Australia, July 21-26.
16. Nowakowski, A. F., Kraipech, W. and Dyakowski, T. (2002) Performance of some finite elements in numerical simulation of complex incompressible three dimensional flow, Proceedings of the International Conference on Multifield Problems, University of Stuttgart, Germany, April 21-26.
17. Nowakowski, A. F., Kraipech, W. and Dyakowski, T. (2003). Performance of some finite elements in numerical simulation of complex incompressible three dimensional flow, in : "Analysis and Simulation of Multifield Problems" W.L.Wendland and M.Efendiev (Eds.), Springer Verlag, pages 154-163.
18. Doby, M. J., Kraipech, W. and Nowakowski, A. F. (2003). Numerical prediction of outlet velocity patterns in solid-liquid separators, Solid-Liquid Separation Systems IV by American Filtration Society, British Filtration Society and American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 14-19 December, Chile.
19. Kraipech, W., Nowakowski, A. F., Dyakowski, T. and Suksangpanomrung, A. (2003) An influence of the particle-fluid and particle-particle interactions on the separation performance of a hydrocyclone, Solid-Liquid

Separation Systems IV by American Filtration Society, British Filtration Society and American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 14-19 December, Chile.

20. Doby, M. J., Kraipech, W. and Nowakowski, A. F. (2004). Numerical prediction of outlet velocity patterns in solid-liquid separators, The 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, Suranaree University of Technology, 21-23 July, Thailand.

21. Sriramaung, W., Kraipech, W. and Suksangpanomrung, A. (2004). Numerical simulation of the flow within a cyclone separator, การประชุมและการสัมมนาทางวิชาการ องค์การเครื่องถ่ายยวกรรมการบินและอวกาศ ครั้งที่ 2 ประจำปี 2547, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 18-19 สิงหาคม, ประเทศไทย

22. Sriramaung, W., Kraipech, W. and Suksangpanomrung, A. (2004). การศึกษาผลของความสูงทรงกระบอกและทรงกรวยของไซโคลนที่มีผลต่อลักษณะการไหลภายในไซโคลนโดยใช้กระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์, วารสารการประชุมวิชาการเครื่องถ่ายยวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ประจำปี 2547 มหาวิทยาลัยขอนแก่น 18-20 ตุลาคม 2547 ประเทศไทย

23. Kraipech, W. (2004) The experimental study of the flow within a hydrocyclone, Regional Symposium on Chemical Engineering 2004(RSCE 2004), 1-3 December, Bangkok, Thailand.

24. Kraipech, W. and Nontasorn, P. (2004) Para-Rubber Seed Oil, Regional Symposium on Chemical Engineering 2004(RSCE 2004), 1-3 December, Bangkok, Thailand.

25. Kraipech, W. and Nowakowski, A. F. (2005) The experimental study of the flow within a transparent hydrocyclone with a vortex finder attachment, AFS 2005 Spring Annual Conference & Expo, 10-13 April, Atlanta, USA.

26. ชาญณรงค์ วันทา อโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง และ วรณวิไล ไกรเพ็ชร เรื่อง ผลกระทบการไหลแบบสภาวะไม่คงตัวที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เผยแพร่ในการประชุมวิชาการเครื่องถ่ายยวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 วันที่ 19-21 ตุลาคม 2548 ภูเก็ต

27. ชาญณรงค์ วันทา อโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง และ วรณวิไล ไกรเพ็ชร เรื่อง การคำนวณการพาความร้อนแบบสภาวะคงตัวในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เผยแพร่ในวารสารวิชาการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

28. Kraipech, W., Panich, P. and Suksangpanomrung, A. (2005) The simulation of the flow within a hydrocyclone operating with an air core and with an inserted metal - rod using the finite volume method (FVM), การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 พัทยา

29. ชาญณรงค์ วันทา อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง วรณวิไล ไกรเพ็ชร์ อธิผลของการไหลแบบเป็นจังหวะเพื่อการเพิ่มความสามารถในถ่ายเทความร้อนจากกลุ่มวัตถุร้อนที่จัดเรียงตัวในช่องทางไหล การประชุมวิชาการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 5 วันที่ 6-7 เมษายน 2549
30. Wanwilai Kraipech Evans, Teerapat Rattanasuwan, Padidporn Saengmahachai and Anutida Paya (2006) Numerical simulation of the flow in a deoiling hydrocyclone, International Conference on Modeling in Chemical and Biological Engineering Science, Bangkok, Thailand, Oct. 25-27, 2006.
31. U. Suwanmanee, T. Leejarkpai, W. K. Evans, Shinatiphkorn Pongpinyopap and Thumrongrut Mungcharoen' "Environmental impacts assessment of plastic wastes in Thailand", **EcoBalance 2014 Conference**, 27-30 October 2014, Tsukuba, Japan.
32. Wanwilai Kraipech Evans, Pongprawut, and Onkaew and Boonrit Heungbok, An Application of Small Hydrocyclones for Separating Yeast in the Brewing Industry, **ICNSE 2015**, Kyoto, Japan 7-9 May 2015.
33. Wanwilai Kraipech Evans, Problem-based Learning: Case Study in Process Dynamics and Control, **The 11th International Symposium on Advances in Technology Education (ISATE 2017)** 19-22 September 2017, Ngee Ann Polytechnic, Singapore.
34. Wanwilai Kraipech Evans (2018), The Study of the Effect of Coal Feeding Pattern on Combustion Efficiency in Pulverized Coal Combustion using CFD Technique, 21st Conference on Process Integration for Energy Saving and Pollution Reduction - PRES 2018, 25-29 August 2018, Prague, Czech Republic

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

อนุสิทธิบัตร

Petty patent No. 6792 Hydrocyclone for solid-liquid separation with inserted - rotated metal rod.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้