

ผลของอัตราส่วนการไหลและอัตราส่วนความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลนขนาด 100 มิลลิเมตร

พิชัย สร้อยสน¹ ประธาน วงศ์ศรีเวช¹

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ คลองหลวง ปทุมธานี 12120

และ ธนิต สวัสดิ์เสวี²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 100 มิลลิเมตรในการแยกดินออกจากน้ำอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาล ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน อัตราการไหลที่ทางเข้า และร้อยละของดินโดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราส่วนการไหลเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนการไหลจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้าเพิ่มขึ้น ปริมาณดินไม่มีผลต่ออัตราส่วนการไหล ในช่วงอัตราการไหลต่ำๆ อัตราการไหลเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกลดลงจนถึงอัตราการไหลวิกฤต แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลขึ้นอีกจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณดินที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลง

คำสำคัญ : ไฮโดรไซโคลน / อัตราส่วนการไหล / อัตราส่วนความเข้มข้น / การแยก / ประสิทธิภาพ

* Corresponding author. E-mail : pratarn@nanotec.or.th

¹ ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

^{1*} นักวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

Effects of Flow Ratio and Concentration Ratio on the Separation Efficiency of 100-mm Hydrocyclone

Pichai Soison¹ Pratarn Wongsarivej^{1*}

National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 12120

and Thanit Sawasdisevi²

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

Abstract

This study used a 100-mm hydrocyclone to separate soil from sugar cane juice in the sugar industry. The important studied parameters affecting the separation efficiency were underflow diameter of the hydrocyclone, feed flow rate and the percentage of soil by weight. It was found that when the underflow diameter of the hydrocyclone increased, the flow ratio increased. However, the flow ratio decreased when the feed flow rate increased. The amount of soil did not affect the flow ratio. At low feed flow rates, an increase in the feed flow rate resulted in a decrease in the separation efficiency until the critical flow rate had been reached. However, when the feed flow rate further increased, the separation efficiency increased. In addition, increased amount of soil caused a decrease in the separation efficiency.

Keywords : Hydrocyclone / Flow ratio / Concentration ratio / Separation / Efficiency

* Corresponding author E-mail : pratarn@nanotec.or.th

¹ Research Assistant, National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency.

^{1*} Researcher, National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency.

² Assistant Professor, Department of Thermal Technology Faculty of School of Environment and Materials.

1. บทนำ

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแยก ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการแยก เนื่องจากไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวทำให้บำรุงรักษาได้ง่ายและมีราคาถูก หลักการแยกของไฮโดรไซโคลนใช้หลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกสาร 2 ชนิดขึ้นไปที่มีความหนาแน่นต่างกัน ไฮโดรไซโคลนจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ท่อทรงกระบอกทางตอนบน และด้านล่างที่มีรูปทรงกรวย ท่อทางเข้าของไฮโดรไซโคลนถูกติดตั้งกับส่วนบนซึ่งอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับผนังภายในทรงกระบอก ส่วนท่อทางออกของสารมีอยู่ 2 ทางได้แก่ ทางออกด้านบน (Overflow) และทางออกทางด้านล่าง (Underflow) เมื่อของผสมถูกป้อนเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนผ่านท่อทางเข้าด้วยความเร็วสูงในแนวสัมผัสจะก่อให้เกิดการไหลแบบหมุนวนลงมาทางด้านล่าง ลักษณะการไหลนี้จะก่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งของเหลวในที่นี่คือน้ำอ้อยที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเปลี่ยนทิศทางการไหลโดยหมุนวนออกทางด้านบน ส่วนอนุภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าในกรณีนี้คือดินจะถูกผลักให้ไปติดผนังของไฮโดรไซโคลนและหมุนติดผนังไปเรื่อยๆ จนถึงทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน [1]

อัตราส่วนการไหลเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาประสิทธิภาพและการคัดขนาดของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน ซึ่งได้มีผู้วิจัยโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร ในการพัฒนาสมการของประสิทธิภาพโดยศึกษาผลของอนุภาคขนาดเล็กของซิลิกาที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำ ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio, C) จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ขนาดตัด (Cut size, d_{50}) และอัตราส่วนการไหล (Flow ratio, R_f) ที่ได้จะมีค่าลดลง [2] นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาถึงผลของสัดส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบนต่อเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างที่มีต่ออัตราส่วนการไหลโดยใช้ไฮโดรไซโคลนชนิดแยกของแข็ง

ออกจากของเหลวซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลคงที่เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างมีขนาดเล็กลง อัตราส่วนการไหลจะมีค่าลดลงโดยมีความสัมพันธ์ในรูปของสมการยกกำลัง (Power function) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระเป็นลบ [3] เช่นเดียวกับการใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตรที่ใช้แยกยีสต์ออกจากน้ำเกลือ ซึ่งพบว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างมีขนาดเล็กลง อัตราส่วนการไหลจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน [4] ดังนั้นเพื่อให้การนำไฮโดรไซโคลนมาประยุกต์ใช้แยกดินออกจากน้ำอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน อัตราการไหลที่ทางเข้า และร้อยละของดินโดยน้ำหนัก พร้อมทั้งเสนอการพิจารณาตัวแปรเพิ่มเติมที่ควรใช้ประกอบในการหาประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลน

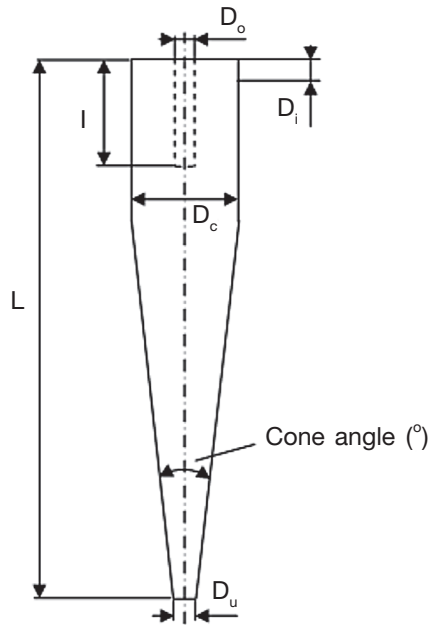
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง อัตราการไหลเข้า และปริมาณดินที่มีต่ออัตราการไหล
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลเข้า และปริมาณดินที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก
3. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนการไหล และอัตราส่วนความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ไฮโดรไซโคลน

ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นประเภทที่ใช้แยกของแข็งออกจากของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ออกแบบโดยใช้อัตราส่วนของขนาดตามงานวิจัยที่มีผู้ศึกษามาก่อน [5] โดยมีรูปและตารางแสดงขนาดและอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลนตามรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ขนาดในส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนขนาดต่างๆ ของไฮโดรไซโคลน

D_i / D_c	D_o / D_c	D_u / D_c	l / D_c	L / D_c	θ
0.2	0.16	0.2	1.0	7.68	7.68

เมื่อ

D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone diameter)

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (Inlet diameter)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow diameter)

D_u คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow diameter)

l คือ ความยาวของทางออกด้านบนที่ยื่นเข้ามาภายในไฮโดรไซโคลน (Vortex finder length)

L คือ ความยาวของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone length)

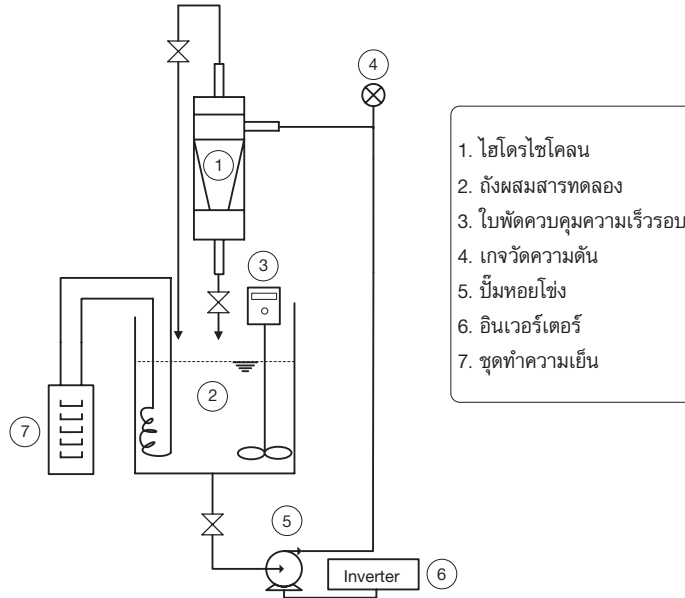
θ คือ มุมของกรวย (Cone angle)

3.2 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

แผนภาพและชุดอุปกรณ์การทดลองไฮโดรไซโคลน แสดงไว้ดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ถังสำหรับบรรจุสารทดลองขนาด 40 ลิตร ติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อวัดความดันของกระแสของของไหลขาเข้า ปัมพ์จะควบน้ำอ้อยผสมดินที่อยู่ในถังโดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความถี่ (Hz) ที่จ่ายเข้าปัมพ์เพื่อปรับอัตราการไหลของของผสมตามที่ต้องการ ของผสมจะไหลไปตามท่อผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลและเกจวัดความดันเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ทางเข้าในแนวสัมผัสของไฮโดรไซโคลน ของผสมที่ผ่านการหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลนแล้วจะไหลออกที่ทางออก 2 ทาง คือ ทางออกด้านบน (Overflow) และทางออกด้านล่าง (Underflow) ของผสมทั้ง 2 กระแสจะไหลหมุนเวียนกลับลงสู่ถัง ที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนจะมีวาล์วสำหรับปรับอัตรา

การไหล ทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของทางออก
ด้านล่างได้ นอกจากนี้ยังมีเครื่องกวนสำหรับผสมน้ำอ้อย
สังเคราะห์กับดินให้กระจายแขวนลอยอย่างสม่ำเสมอ

ถึงมีชุดหล่อเย็นด้วยน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของของผสม
ในถังให้คงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 แผนภาพชุดทดลองไฮโดรโซโคลน



รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์การทดลองไฮโดรโซโคลน

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการเตรียมสารทดลองประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ 1) ขั้นตอนการเตรียมดิน นำดินไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นแล้วนำมาบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำเข้าสู่เครื่องร่อนคัดขนาด 18 mesh เพื่อแยกเอาดินเฉพาะที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร 2) ขั้นตอนการเตรียมน้ำตาลทรายดิบ ทำโดยนำน้ำตาลทรายดิบเข้าอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น 3) ขั้นตอนการเตรียมน้ำอ้อยสังเคราะห์ นำน้ำตาลทรายดิบที่ผ่านการอบแล้ว 3.53 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 20 ลิตรในถังทดลอง เปิดเครื่องกวนให้น้ำตาลทรายดิบละลายจนหมดจะได้ น้ำอ้อยสังเคราะห์ที่มีความหวาน 15 Brix ซึ่งใกล้เคียงกับความหวานของน้ำอ้อยในโรงงานน้ำตาล 4) ขั้นตอนการเตรียมน้ำอ้อยสังเคราะห์ผสมดินในปริมาณต่างๆ นำดินที่เตรียมแล้ว 0.237 และ 0.480 กิโลกรัม เติลงในถังทดลองที่เตรียมน้ำอ้อยสังเคราะห์ไว้แล้วเปิดเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 480 รอบต่อนาที เพื่อกวนให้ดินกระจายแขวนลอยอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นการจำลองลักษณะสมบัติของสารทดลองให้ใกล้เคียงกับน้ำอ้อยที่มีดินปนอยู่ที่หีบได้จากโรงงานน้ำตาลจะได้ น้ำอ้อยสังเคราะห์ผสมดินในอัตราส่วนร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก (1 wt% และ 2 wt% soil) ในการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างที่มีต่ออัตราส่วนการไหลที่อัตราการไหล 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยปรับวาล์วที่อยู่ด้านล่างของไฮโดรไซโคลนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ คือ 5 5.5 6 6.5 และ 7 มิลลิเมตร เติมน้ำและปรับค่าความถี่ไฟฟ้าด้วยอินเวอร์เตอร์ ในการวัดอัตราการไหลทำโดยนำบีกเกอร์มาวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากไฮโดรไซโคลนทั้งทางด้านบนและล่างเทียบกับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาหากปริมาตรน้ำที่ได้น้อยหรือมากกว่าที่ต้องการให้ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์จนกระทั่งได้อัตราการไหลที่ต้องการ บันทึกปริมาตรที่ตวงได้นำมาคำนวณอัตราส่วนการไหล จากนั้นเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างที่ขนาดอื่นๆ ทำซ้ำในการปรับค่าความถี่และวัดปริมาตรน้ำที่ออกจากไฮโดรไซโคลนทั้งด้านบนและด้านล่าง

ในการศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำอ้อยสังเคราะห์และปริมาณดินที่มีต่ออัตราส่วนการไหลและประสิทธิภาพการแยกทำโดยเตรียมน้ำอ้อยสังเคราะห์ผสมดินร้อยละ 1 และ 2 ทำการทดลองที่อัตราการไหล 2 3 4 และ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ปรับวาล์วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร บันทึกปริมาตรที่ตวงได้นำมาคำนวณอัตราส่วนการไหล สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแยกทำการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยสังเคราะห์ในถังและที่ผ่านการแยกด้วยไฮโดรไซโคลนแล้วทั้งทางด้านบนและด้านล่างตัวอย่างละ 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมากรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน ระหว่างการกรองทำการฉีดยาล้างเพื่อล้างเอาน้ำอ้อยออกจากดินให้หมด นำกระดาษกรองและดินที่ผ่านการล้างแล้วไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ทำการอบและชั่งจนกว่าน้ำหนักกระดาษกรองและดินที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับการหาขนาดและการกระจายขนาดของดินทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยสังเคราะห์ในถังและที่ผ่านการแยกด้วยไฮโดรไซโคลนแล้วทั้งทางด้านบนและด้านล่างตัวอย่างละ 30 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวัดขนาดอนุภาค Mastersizer (2000) สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพการแยก (Separation efficiency, Eff) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Eff = \frac{m_u}{m_f} \quad (1)$$

เมื่อ $m_u = Q_u C_u \quad (2)$

$$m_f = Q_f C_f \quad (3)$$

แทนสมการ (2) และ (3) ในสมการที่ (1) จะได้

$$Eff = \frac{Q_u C_u}{Q_f C_f} \quad (4)$$

จากอัตราส่วนการไหลคือ

$$R_f = \frac{Q_u}{Q_f} \quad (5)$$

และอัตราส่วนความเข้มข้นคือ

$$C = \frac{C_u}{C_f} \quad (6)$$

แทนสมการ (5) และ (6) ลงในสมการที่ (4) จะได้

$$Eff = R_f C \quad (7)$$

เมื่อ m_u คือ อัตราการไหลเชิงมวลของดินที่ทางออกด้านล่าง (กรัมต่อวินาที)

m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของดินที่ทางเข้า (กรัมต่อวินาที)

Q_u คือ อัตราการไหลของของผสมที่ทางออกด้านล่าง (มิลลิลิตรต่อวินาที)

Q_f คือ อัตราการไหลของของผสมที่ทางเข้า (มิลลิลิตรต่อวินาที)

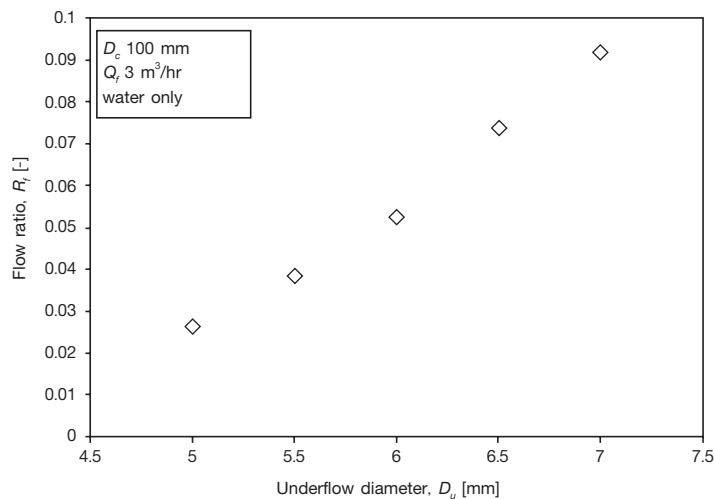
C_u คือ ความเข้มข้นของดินในของผสมที่ทางออกด้านล่าง (กรัมต่อมิลลิลิตร)

C_f คือ ความเข้มข้นของดินในของผสมที่ทางเข้า (กรัมต่อมิลลิลิตร)

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างที่มีต่ออัตราส่วนการไหล

เมื่อทำการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างที่มีต่ออัตราส่วนการไหลโดยใช้ไฮโดร-ไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหลของน้ำที่ทางเข้า 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างคือ 5 5.5 6 6.5 และ 7 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างมีขนาดใหญ่ขึ้นอัตราส่วนการไหลที่มีค่ามากขึ้นดังแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหลที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างขนาดต่างๆ ในรูปที่ 4 เนื่องจากเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างมีขนาดใหญ่ขึ้นของเหลวสามารถไหลออกทางด้านล่างได้สะดวกขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลที่ออกทางด้านล่างมีอัตราการไหลสูงขึ้นในขณะที่ขนาดทางออกด้านบนมีขนาดเท่าเดิมอัตราการไหลที่ทางออกด้านบนจึงมีอัตราการไหลเท่าเดิม ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนการไหลจึงพบว่ามีอัตราส่วนการไหลที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4 อัตราส่วนการไหลที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างขนาดต่างๆ ที่อัตราการไหลที่ทางเข้า 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

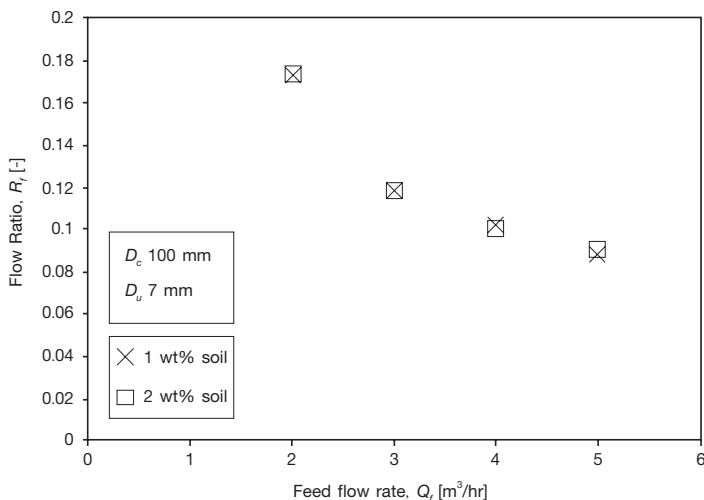
4.2 ผลของอัตราการไหลที่ทางเข้าที่มีต่ออัตราส่วนการไหล

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราการไหลที่ทางเข้าที่มีต่ออัตราส่วนการไหลโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหลที่ทางเข้าของน้ำอ้อยสังเคราะห์ 2 3 4 และ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้ามีอัตราสูงขึ้น อัตราส่วนการไหลจะมีค่าลดลง การลดลงของอัตราส่วนการไหลนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราการไหลมีค่าน้อยๆ แต่การลดลงของอัตราส่วนการไหลนี้จะมีค่าน้อยลงและเกือบคงที่เมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหล 4 ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะมีอัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.09 ถึง 0.1 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหลและอัตราการไหลต่างๆ ในรูปที่ 5 เนื่องจากในกรณีที่อัตราการไหลมีค่าน้อยของผสมสามารถไหลออกทางด้านล่างได้ทันเทียบกับอัตราการไหลของของผสมที่ไหลเข้าไฮโดรไซโคลน แต่ในกรณีที่อัตราการไหลที่ทางเข้ามีค่าสูงขึ้นของผสมจะไม่สามารถ

ไหลออกทางด้านล่างของไฮโดรไซโคลนได้ทันของผสมบางส่วนจะถูกแรงดันภายในไฮโดรไซโคลนผลักดันให้ไหลออกทางด้านบนของไฮโดรไซโคลน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัตราส่วนการไหลมีค่าน้อยลงเมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้ามีค่ามากขึ้น

4.3 ผลของปริมาณดินที่มีต่ออัตราส่วนการไหล

เมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณดินที่มีต่ออัตราส่วนการไหลโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ปริมาณดินร้อยละ 1 และ 2 พบว่าเมื่อดินมีปริมาณสูงขึ้น อัตราส่วนการไหลจะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารที่เพิ่มขึ้นจาก 0.002389 เป็น 0.002455 กิโลกรัมต่อเมตรวินาทีในกรณีที่มิดินร้อยละ 1 และ 2 ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกัน ที่อัตราการไหล 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง การทดลองโดยใช้ดินร้อยละ 1 และ 2 จะให้อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.089 และ 0.094 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5

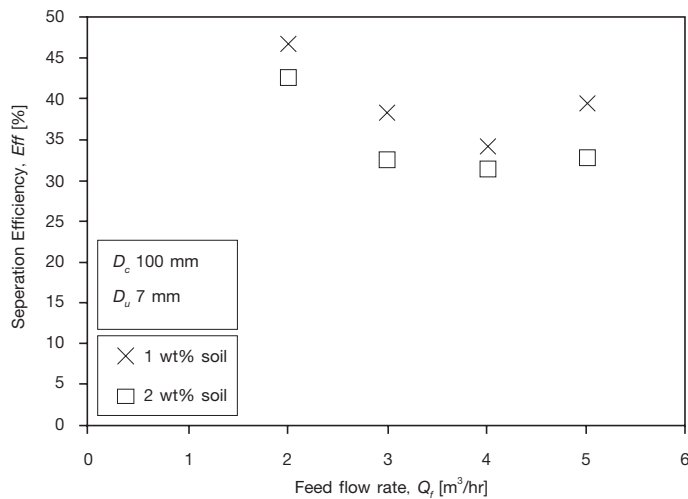


รูปที่ 5 อัตราส่วนการไหลที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ปริมาณดินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.4 ผลของอัตราการไหลที่ทางเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราการไหลที่ทางเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหลที่ทางเข้าของน้ำอ้อยสังเคราะห์ 2 3 4 และ 5 ลูกบาศก์-

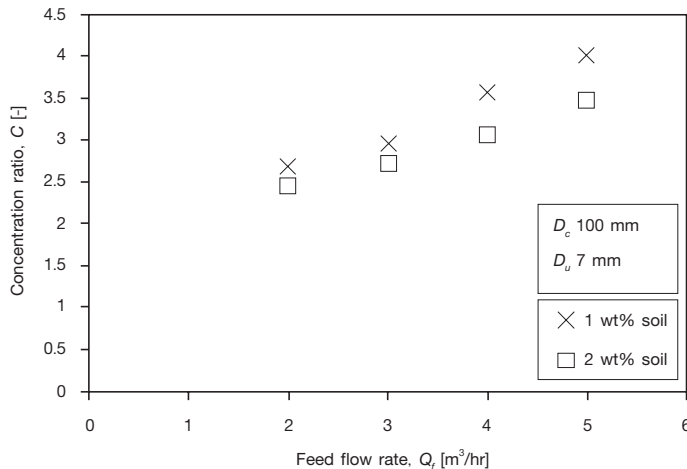
เมตรต่อชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าในช่วงอัตราการไหล 2 ถึง 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้ามีอัตราสูงชันประสิทธิภาพการแยกจะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามในช่วงอัตราการไหล 4 ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้ามีอัตราสูงชันประสิทธิภาพการแยกจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงค่าประสิทธิภาพการแยกที่อัตราการไหลต่างๆ ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการแยกที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ปริมาณดินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

เนื่องจากประสิทธิภาพการแยกคำนวณได้จากอัตราส่วนการไหลและอัตราส่วนความเข้มข้นดังแสดงในสมการที่ 7 เมื่อพิจารณารูปที่ 5 เพิ่มเติมจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนการไหลมีค่าลดลงอย่างมากในช่วงอัตราการไหลต่ำๆ และอัตราส่วนการไหลจะเริ่มคงที่ในช่วงอัตราการไหล 4 ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลนี้จะส่งผลให้ความเข้มข้นดินที่ได้จากทางออกด้านล่างเพิ่มขึ้นด้วยอันเนื่องมาจากความเร็วขาเข้าของดินและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่มากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นและอัตราการไหลต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 7 การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในช่วง 2 ถึง 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะทำให้อัตราส่วนการไหล

มีค่าลดลงอย่างมากในขณะที่อัตราส่วนความเข้มข้นดินที่ได้จากทางออกด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นผลของอัตราส่วนการไหลที่ลดลงจึงมีมากกว่าผลของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นดินส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกที่คำนวณได้มีค่าลดลงและมีค่าต่ำสุดที่อัตราการไหล 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในช่วง 4 ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้อัตราส่วนการไหลมีค่าลดลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ แต่ความเข้มข้นดินที่ได้จากทางออกด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นในช่วงอัตราการไหล 4 ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลของอัตราส่วนการไหลที่ลดลงจึงน้อยกว่าผลของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นดินส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 7 อัตราส่วนความเข้มข้นดินที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ปริมาณดินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.5 ผลของปริมาณดินที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก

จากรูปที่ 6 เมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณดินที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ไฮโดรไซโคลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 7 มิลลิเมตร ที่ปริมาณดินร้อยละ 1 และ 2 พบว่ากรณีผสมดินร้อยละ 1 มีประสิทธิภาพการแยกดีกว่ากรณีผสมดินร้อยละ 2 ในทุกอัตราการไหลเข้าเนื่องจากปริมาณดินที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดโอกาสการชนกันของอนุภาคดินมีมากขึ้นส่งผลให้อนุภาคดินแยกออกจากน้ำอ้อยได้ยากขึ้นเนื่องจากมีแรงต้านทานการไหลมากกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลง [6]

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลขนาด 100 มิลลิเมตร ในการแยกดินออกจากน้ำอ้อยตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคล อัตราการไหล และความเข้มข้นดิน ซึ่งตัวแปรทั้งสามส่งผลต่ออัตราการส่วนการไหลและประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคล เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลเพิ่มขึ้นอัตราการส่วนการไหลจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้ามีค่าสูงขึ้นจะทำให้อัตราการส่วนการไหลมีค่าลดลง ปริมาณ

ดินจะไม่มีผลต่ออัตราการส่วนการไหลเนื่องจากความหนืดที่แตกต่างกันอย่างไม่เป็นนัยสำคัญ

สิ่งที่น่าสนใจคือปริมาณดินที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลอย่างชัดเจนต่อประสิทธิภาพการแยก ปริมาณดินร้อยละ 1 จะให้ประสิทธิภาพการแยกสูงกว่าปริมาณดินร้อยละ 2 ในทุกอัตราการไหลเข้าที่ศึกษาเนื่องจากปริมาณดินที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดโอกาสการชนกันของอนุภาคดินมีมากขึ้นส่งผลให้ดินแยกออกจากน้ำอ้อยได้ยากขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลง อัตราการไหลที่ทางเข้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงอัตราการไหลต่ำๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลงและจะมีประสิทธิภาพการแยกต่ำสุดที่อัตราการไหล 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สำหรับอัตราการไหลที่ทางเข้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงอัตราการไหลสูงๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้น ดังนั้นการพิจารณาว่าที่อัตราการไหลใดจะให้ประสิทธิภาพการแยกสูงสุดจึงควรพิจารณาทั้งอัตราการส่วนการไหลและอัตราส่วนความเข้มข้นรวมกันเพราะที่อัตราการไหลต่ำมากๆ แม้ว่าจะมีมีประสิทธิภาพการแยกสูงแต่อัตราส่วนการไหลที่ได้ก็มีค่าสูงเช่นกันส่งผลให้มีน้ำอ้อยสูญเสียที่ทางออกด้านล่างมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราการไหลหรือลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเพื่อให้สูญเสียน้ำอ้อยน้อยที่สุดนั้นจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับปั๊มและอาจเกิดปัญหา

การสะสมหรืออุดตันของดินที่ทางออกด้านล่างส่งผลให้ดินเกิดการเคลื่อนที่ย้อนกลับออกไปทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลงและทำให้ความดันในระบบสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องวัดขนาดอนุภาคในงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Therdtianwong, A., 1997, "Particle Separation and Classification of Hydrocyclone", *KKU Engineering Journal*, Vol. 2, No. 25, pp. 79. (in thai)
2. Frachon, M., Cilliers, J.J., 1999, "A General Model for Hydrocyclone Partition Curves" *Chemical Engineering Journal*, Vol. 73, No. 1, pp. 53-59.
3. Sahin, F.K., Yildirim, O.G., 2011, "The Effect of Cone Ratio on the Separation Efficiency

of Small Diameter Hydrocyclone", *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 98, No. 3-4, pp. 163-167.

4. Cilliers, J.J., Diaz-Anadon, L., Wee, F.S., 2004, "Temperature, Classification and Dewatering in 10 mm Hydrocyclones, *Minerals Engineering*", Vol. 17, No. 5, pp. 591-597.

5. Wongsirivej, P., Tanthapanichakoon, W., Yoshida, H., 2005, "Classification of Silica Fine Particles Using a Novel Electric Hydrocyclone", *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 364-369.

6. Saengchan, K., Nopharatana, A. and Songkasiri, W., 2009, "Enhancement of tapioca starch separation with a hydrocyclone: effects of apex diameter, feed concentration, and pressure drop on tapioca starch separation with a hydrocyclone" *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 48, No. 1, pp. 195-202.

