

ผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพ ขนาดตัด ดัชนีความคม และอัตราส่วนความเข้มข้น
โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร สำหรับการแยกซิลิกาขนาดเล็ก

The Results of Flow Ratio on Separation Efficiency, Cut Size, Sharpness Index and
Concentration Ratio Using a 30 mm Hydrocyclone for Separating Fine Silica

ชาญณรงค์ แซ่เล้า¹ อมร จันทรทอง¹ สราวุธ เนื่องจำนงค์¹
ฉัตรชัย นิम्मอล² อนุชา หิรัญวัฒน์² พิชัย สร้อยสน³ และ ประธาน วงศ์ศิริเวช^{4*}

Channarong Saelao¹ Amorn Janthong¹ Sarawut Nuengchamnon¹
Chatchai Nimmo² Anaucha Hirunwat² Pichai Soison³ and Pratarn Wongsarivej^{4*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²อาจารย์ที่ปรึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

³ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
อาคารศูนย์ประชุมอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

⁴นักวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
อาคารศูนย์ประชุมอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

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

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยใช้ไฮโดรไซโคลนจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับหลายอุตสาหกรรม โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพ ขนาดตัด ดัชนีความคม และอัตราส่วนความเข้มข้น โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร อัตราส่วนการไหลที่ศึกษาคือ 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 สารผสมที่ใช้ในการทดลองคือซิลิกาผสมกับน้ำ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5 – 10 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของแข็งร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลนที่ 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออัตราส่วนการไหลเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือ ร้อยละ 82.8, 84.2, 85.8 และ 87.3 และมีค่าของขนาดตัดเท่ากับ 3.71, 3.52, 3.46 และ 3.35 ไมโครเมตร มีดัชนีความคมเท่ากับ 0.65, 0.64, 0.63 และ 0.61 ค่าอัตราส่วนความเข้มข้นเท่ากับ 8.28, 5.70, 4.29 และ 3.49 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ อัตราส่วนการไหล ไฮโดรไซโคลน

Abstract

Technology to separate solid particles from liquid using hydrocyclone will be a good choice for industries. The effect of flow ratio on separation efficiency, cut size, sharpness index, and concentration ratio using a 30 mm hydrocyclone were investigated. The tested flow ratios were 0.1, 0.15, 0.2, and 0.25. The tested suspension was the mixture of silica and water. The silica particles had an average size of 5 – 10 micrometers at the solid concentration of 2% w/v. The feed flow rates of 1.25 m³/hr were tested. The results showed that, when the flow ratio increases, the separation efficiency will increase of 82.8, 84.2, 85.8, and 87.3, the cut size of 3.71, 3.52, 3.46, and 3.35 micrometers, the sharpness index of 0.65, 0.64, 0.63, and 0.61, and concentration ratio of 8.28, 5.70, 4.29, and 3.49, respectively.

Keywords: efficiency, flow ratio, hydrocyclone

1. บทนำ

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกของผสมในอุตสาหกรรม การทำงานของไฮโดรไซโคลนจะใช้กลไกแยกสารโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่แบบหมุนให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หลักในการแยกสารอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นและ/หรือขนาดของสารที่เคลื่อนที่โดยแรงเหวี่ยง ร่วมกับการออกแบบรูปร่างของไฮโดรไซโคลน แรงเหวี่ยงเกิดจากความเร็วของของผสมด้านทางเข้าของไฮโดรไซโคลนด้วยความเร็วสูงระดับหนึ่งโดยที่ไฮโดรไซโคลนไม่เคลื่อนที่ ในระบบที่มีของแข็งปนอยู่กับของเหลว สารที่เป็นของเหลวหรือสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนเข้าสู่ศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนโดยไหลออกทางด้านบน (overflow) ส่วนของแข็งหรือสารที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนออกจากศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนโดยไหลออกทางด้านล่าง (underflow) (อภิชัย เทิดเทียนวงศ์, 2540)

Wongsarivej (2005) ได้ศึกษาการคัดแยกขนาดอนุภาคของซิลิกาโดยใช้ไฮโดรไซโคลนไฟฟ้า

(electrical hydrocyclone) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ซึ่งใช้น้ำที่มีซิลิกาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 754 นาโนเมตรปะปนอยู่โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนการไหลเป็นตัวแปรสำคัญที่มีต่อประสิทธิภาพและการคัดขนาดของอนุภาคในไฮโดรไซโคลน

โสภิตา เป็งทอง (2556) ได้ทำการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 40 มิลลิเมตร ในการแยกซิลิกาออกจากน้ำ ตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลนและอัตราส่วนการไหล ซึ่งตัวแปรทั้งสองส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยก ขนาดตัดและดัชนีดัชนีความคมของไฮโดรไซโคลน เมื่ออัตราการไหลที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพและดัชนีดัชนีความคมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ขนาดตัดมีค่าน้อยลง แต่เมื่ออัตราส่วนการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำดัชนีความคมมีค่าน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ พิชัย สร้อยสน (2555) ที่พบว่า

เมื่ออัตราส่วนการไหลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ประสิทธิภาพการแยก (Separation Efficiency, Eff) คืออัตราส่วนการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่แยกออกมาที่ทางออกด้านล่างต่ออัตราส่วนการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้าดังสมการ

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

เมื่อ m_u คือ อัตราส่วนการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางออกด้านล่าง

m_f คือ อัตราส่วนการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้า เมื่อ

$$m_u = Q_u C_u \quad (2)$$

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

เมื่อ Q_u คือ อัตราส่วนการไหลของผสมที่ทางออกด้านล่าง

Q_f คือ อัตราส่วนการไหลของผสมที่ทางเข้า

C_u คือ ความเข้มข้นที่ทางออกด้านล่าง

C_f คือ ความเข้มข้นที่ทางเข้า

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

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

จากอัตราส่วนการไหล (Flow ratio, R_f) คือ

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

และอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration Ratio, C) คือ

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

ประสิทธิภาพการคัดขนาดสามารถบอกได้ด้วยค่าดัชนีความคม (Sharpness index, I) แสดงในสมการ

$$I = \frac{d_{25}}{d_{75}} \quad (7)$$

d_{25} คือ ขนาดอนุภาคที่ประสิทธิภาพการแยกร้อยละ 25

d_{75} คือ ขนาดอนุภาคที่ประสิทธิภาพการแยกร้อยละ 75 ซึ่งค่า d_{25} และ d_{75} สามารถหาได้จากกราฟพาร์ทิชัน (Partition curve) (Svarovsky, 2000)

2. วัตถุประสงค์

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกขนาดตัด (Cut size, d_{50}) ดัชนีความคม และอัตราส่วนความเข้มข้น ในการแยกซิลิกาที่มีอนุภาคขนาด 5-10 ไมโครเมตร โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองของไฮโดรไซโคลนสำหรับไฮโดรไซโคลนที่ใช้สำหรับทดลองแยกของแข็งออกจากของเหลว นั้นได้ออกแบบโดยใช้อัตราส่วนตามงานวิจัยของ Wongsarivej (2005) โดยมีความสัมพันธ์ตามอัตราส่วนในการออกแบบและอัตราส่วนต่างๆของไฮโดรไซโคลนดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 ชุดทดลองของไฮโดรไซโคลน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนขนาดต่างๆ ของไฮโดรไลคอลอน

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

D_c คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไลคอลอน

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน

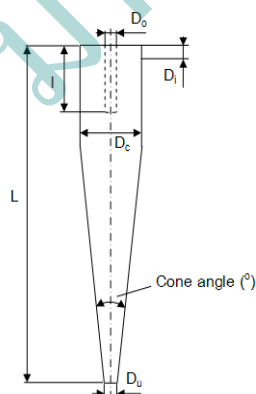
D_u คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง

l คือ ความยาวของทางออกด้านบนไฮโดรไลคอลอน

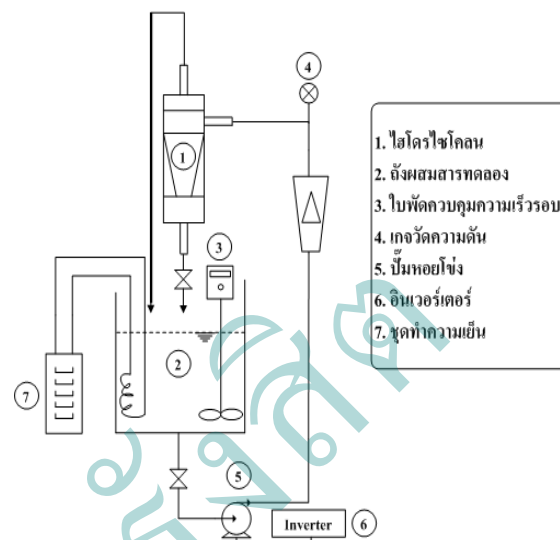
L คือ ความยาวของไฮโดรไลคอลอน

θ คือ มุมของกรวย

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นซิลิกาผงที่ใช้แทนอนุภาคของของแข็ง งานวิจัยนี้ใช้ซิลิกาในการทดลองชนิด FB-5D ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีส่วนประกอบคือ บั๊ม อินเวอร์เตอร์ใช้ปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าปั๊มสำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เกจวัดความดัน ท่อสแตนเลสขนาด 1 นิ้ว เกจวาล์ว และบอลวาล์วขนาด 1 นิ้ว โครงสร้างสำหรับติดตั้งและอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ถังอะคริลิก ใบบัวพัดกวน สาร นาฬิกาจับเวลา ชุดหล่อเย็น ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 2 อัตราส่วนต่างๆของไฮโดรไลคอลอนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 แผนภาพชุดการทดลองไฮโดรไลคอลอน

3.2 วิธีการทดลอง

ติดตั้งไฮโดรไลคอลอนเข้ากับชุดโครงสร้าง จากนั้นเตรียมของเหลวผสมกับของแข็งใส่ในถังอะคริลิก เปิดใบบัวพัดกวนเพื่อให้ของแข็งกระจายตัวสม่ำเสมอและทำให้ความเข้มข้นสารแขวนลอยซิลิกาเข้าถังที่ที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิของผสมที่ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ชุดทำความเย็น จากนั้นปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์แล้วเดินบั๊มดูดของเหลวผสมเข้าสู่ระบบโดยควบคุมให้อัตราการไหลที่ทางเข้าเท่ากับ 1, 1.125 และ 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยอาศัยการปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์หาปริมาณของไหลรวมที่ได้จากไฮโดรไลคอลอนทั้งด้านบนและด้านล่างโดยใช้บีกเกอร์พลาสติกตวง ปริมาตรที่ได้เทียบกับเวลา (ใช้นาฬิกาจับเวลา) ถ้าอัตราการไหลมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ต้องการให้ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ปรับอัตราส่วนการไหลที่ค่าต่างๆคือ 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 โดยใช้เกจวาล์ว โดยการวัด ปริมาตรของไหลที่ไหลออกทางด้านล่างของไฮโดร

ไซโคลน ถ้าปริมาตรที่ได้มากกว่าหรือน้อยกว่าที่ต้องการให้เปิดเกวาล์วน้อยลงหรือเพิ่มขึ้นตามลำดับ

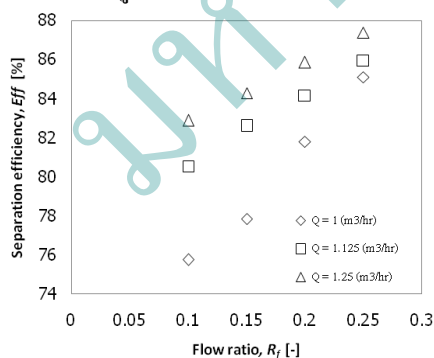
เก็บตัวอย่างของผสมที่แยกได้ไฮโดรไซโคลนทางด้านบน ด้านล่างและที่ทางเข้านำไปตรวจวัดอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer2000 เพื่อวิเคราะห์และหาขนาดอนุภาคในการคำนวณขนาดตัดและประสิทธิภาพการคัดขนาด

เก็บตัวอย่างที่ได้จากไฮโดรไซโคลนทั้งสามด้านๆละ 100 มิลลิลิตร เข้าอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนทราบน้ำหนักของแข็งที่แน่นอน นำข้อมูลที่ได้คำนวณประสิทธิภาพการแยก

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนการไหลต่างๆ ความเข้มข้นของซิลิการ้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ได้ประสิทธิภาพการแยกที่อัตราส่วนการไหลแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4



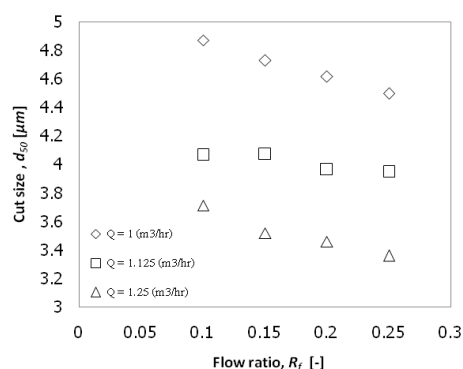
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการแยกที่อัตราส่วนการไหลและอัตราการไหลต่างๆ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 ในกรณีที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 โดยใช้อัตราการ

ไหลที่ทางเข้า 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าไฮโดรไซโคลนสามารถให้ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำได้ถึงร้อยละ 82.8, 84.2, 85.8 และ 87.3 ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราส่วนการไหล 0.25 จะมีช่องทางออกด้านล่างที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้ของแข็งไหลออกทางด้านล่างได้มากขึ้นและการไหลวนย้อนกลับของอนุภาคของแข็งไปสู่ทางออกด้านบนลดน้อยลง ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนการไหลสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้นในช่วงการทดลองดังกล่าว

4.2 ผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อขนาดตัด

ขนาดตัด คือขนาดของอนุภาคใด ๆ มีโอกาสที่จะถูกแยกออกที่ทางออกด้านล่างและด้านบนเท่าๆกัน ตำแหน่งนี้แทนด้วย d_{50}

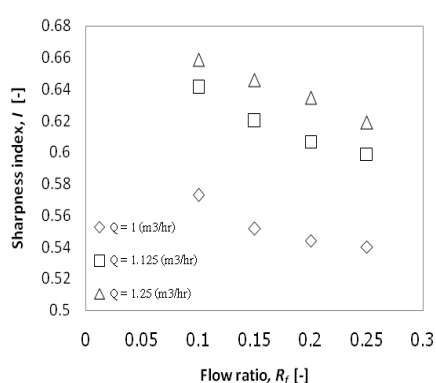


รูปที่ 5 ขนาดตัดที่อัตราส่วนการไหลและอัตราการไหลต่างๆ

จากรูปที่ 5 เมื่อศึกษาขนาดตัดของการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยการทดลองที่อัตราการไหล 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 จากผลการทดลองพบว่าจะได้ขนาดตัดเท่ากับ 3.71, 3.52, 3.46 และ 3.35 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดตัดมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มแรงที่กระทำต่ออนุภาค

ได้มากขึ้น อนุภาคนาโนใหญ่จะได้รับแรงที่มากกว่า อนุภาคนาโนเล็ก ดังนั้นขนาดอนุภาคที่เล็กลงจะได้รับแรงที่อยู่ในสมดุลของการไหลทดแทนจึงทำให้มีขนาดตัวที่เล็กลง

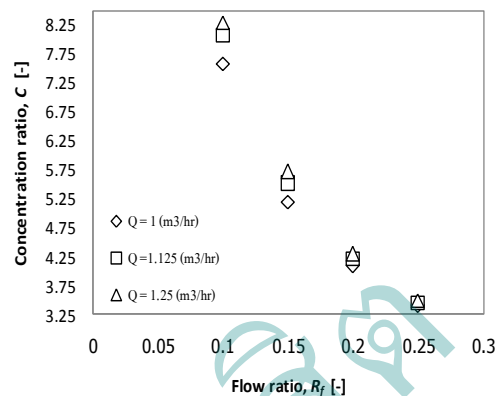
4.3 ผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อดัชนีความคม



รูปที่ 6 ดัชนีความคมที่อัตราส่วนการไหลและอัตราการไหลต่างๆ

เมื่อศึกษาดัชนีความคมของการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยทำการทดลองที่อัตราการไหล 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนการไหลที่ 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6 พบว่ามีค่าดัชนีความคมเท่ากับ 0.65, 0.64, 0.63 และ 0.61 ตามลำดับ เนื่องจากอัตราส่วนการไหลที่มากขึ้นจะทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันมีโอกาสไหลออกทางด้านล่างไปพร้อมๆกัน การคัดแยกขนาดจึงกระทำไม่ได้มีดัชนีความคมจึงมีค่าลดลง

4.4 ผลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่ออัตราส่วนความเข้มข้น



รูปที่ 7 อัตราส่วนความเข้มข้นที่อัตราส่วนการไหลและอัตราการไหลต่างๆ

ตารางที่ 2 สรุปค่าจากรูปที่ 7

Q (m ³ /hr)	Concentration Ratio			
	$R_f = 0.1$	$R_f = 0.15$	$R_f = 0.2$	$R_f = 0.25$
1	7.575	5.189	4.090	3.404
1.125	8.053	5.506	4.208	3.438
1.25	8.289	5.708	4.293	3.495

เมื่อศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นโดยการทำการทดลองที่อัตราการไหล 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยใช้อัตราส่วนการไหล 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 แสดงได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งพบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นจะมีค่า 8.28, 5.70, 4.29 และ 3.49 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงเมื่ออัตราส่วนการไหลมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากในกรณีที่อัตราส่วนการไหลมีค่ามากทำให้น้ำสามารถไหลออกทางด้านล่างได้มากขึ้นด้วยในขณะที่ของแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

5. บทสรุป

จากผลการวิจัยซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลขนาด 30 มิลลิเมตรในการคัดแยกซิลิกาขนาดเล็กสรุปได้ว่าเมื่ออัตราส่วนการไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ขึ้นแต่จะทำให้ขนาดตัด ดัชนีความคม และอัตราส่วนความเข้มข้นมีค่าลดลงดังนั้นจึงควรเลือกใช้สภาวะดำเนินงานที่มีความเหมาะสม และนำไปศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการไหลที่มีต่อพฤติกรรมของไฮโดรไซโคลนเมื่อต่อแบบอนุกรม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนเครื่องวัดขนาดอนุภาคในงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- พิชัย สร้อยสน. (2555). ผลของอัตราส่วนการไหลและอัตราส่วนความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลนขนาด 100 มิลลิเมตร. เอกสารโครงการการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาด้านวิจัยอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- โสภิตา เป็งทอง. (2556). ผลของอัตราส่วนการไหลเข้าและอัตราส่วนการไหลที่มีต่อ ขนาดตัด ดัชนีความคม และประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 40 มิลลิเมตร. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 1 การส่งเสริมความรู้เชิงบูรณาการสู่ประชาคมอาเซียน. ณ อาคารเอนกประสงค์มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.
- อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. (2540). ไฮโดรไซโคลนกับการแยกอนุภาคและคัดขนาด. วิศวกรรมสาร ม.ช. ปีที่ 25 ฉบับที่ 2: 79-95.

Svarovsky, L. (2000). Solid-liquid separation.

Butterworth-Heinemann, Oxford.

Wongsarivej, P., Tanthapanichakoon, W. and

Yoshida, H. (2005). Classification of Silica Fine Particles Using a Novel Electric Hydrocyclone, Science and Technology of Advanced Materials 6: 364 - 369.