# ผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพ ขนาดตัด ดัชนีความคมและอัตราส่วนความเข้มข้น โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร สำหรับการแยกซิลิกาขนาดเล็ก

# Effect of Feed Flow Rate on Separation Efficiency, Cut Size, Sharpness Index and Concentration Ratio using a 30 mm Hydrocyclone for Separating Fine Silica


**สราวุธ เนื่องจำนงค์ [1], ชาญณรงค์ แซ่เล้า [1], อมร จันทร์ทอง [1],**
**ผศ.ดร.ฉัตรชัย นิมมล [2], รศ.อนุชา หิรัญวัฒน์ [2], พิชัย สร้อยสน [3], และดร.ประธาน วงศ์ศริเวช [4]**
**[1] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ**
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**
**[2] ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**
**[3] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ**
**[4] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ**



## บทคัดย่อ

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์สำหรับแยกของแข็งออกจากของเหลวที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในไฮโดรไซโคลน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตรในการแยกซิลิกาขนาดเล็กออกจากน้ำ โดยที่อนุภาคซิลิกามีขนาดเฉลี่ย 5-10 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นของของแข็ง ร้อยละ 2 (%w/v) ทำการทดลองอัตราการไหลเข้า 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และอัตราส่วนการไหล 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราการไหลที่ทางเข้า ประสิทธิภาพการแยกอนุภาค ขนาดตัด ดัชนีความคมและอัตราส่วนความเข้มข้น จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนการไหล 0.25 ที่อัตราการไหลเข้า 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการแยกดีที่สุดถึงร้อยละ 87.3 ขนาดตัด ดัชนีความคมและอัตราส่วนความเข้มข้นเท่ากับ 3.35 ไมโครเมตร 0.61 และ 3.49 ตามลำดับ



**คำหลัก : ไฮโดรไซโคลน, อัตราการไหลเข้า, ประสิทธิภาพการแยก**



## Abstract

Hydrocyclone is a device for separating solid and liquid that has different densities. The concept of centrifugal force is applied into hydrocyclone. The 30 mm hydrocyclone for separating silica particle from water is studied in this research. The silica particles have an average size of 5 – 10 micrometer at the solid concentration of 2 percent (w/v). The feed flow rate of 1.000, 1.125 and 1.250 m3/hr, and flow ratios of 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25 were tested. The important studied parameters was feed flow rate,

separation efficiency, cut size, sharpness index and concentration ratio. The experimental results showed that at the flow ratio of 0.25 and feed flow rate of 1.25 m3/hr. revealed the best separation efficiency up to 87.30 percent.The cut size, sharpness index and concentration ratio were 3.35 micrometers, 0.61 and 3.49, respectively.

**Keywords: Hydrocyclone, Feed flow rate, Separation efficiency**

**บทนำ**

ไฮโดรไซโคลนใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปไฮโดรไซโคลนประกอบด้วยท่อทรงกระบอกทางตอนบน และทางตอนล่างจะมีรูปทรงกรวย ท่อทางเข้าไฮโดรไซโคลนจะติดตั้งอยู่ทางตอนบนโดยอยู่ในแนวเส้นสัมผัสของท่อทรงกระบอก ท่อทางออกของสารมีอยู่ 2 ทาง คือ ทางตอนล่าง (Underflow) และทางตอนบน (Overflow) ของผสมจะถูกป้อนด้วยความเร็วสูงในแนวเส้นสัมผัสก่อให้เกิดการไหลแบบหมุนวนเป็นวงกลมลงมาทางตอนล่าง ลักษณะการไหลวนจะก่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง อนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะถูกกระทำจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ผลักให้ไหลไปติดกับผนังภายในเครื่องและหมุนติดผนังไปเรื่อย ๆ จนถึงทางออกที่อยู่ทางตอนล่างของไฮโดรไซโคลน อนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะหลุดไปทางตอนล่างด้วยอิทธิพลของความเฉื่อยของสารส่วนของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเปลี่ยนทิศทางการไหลโดยหมุนวนขึ้นไปทางตอนบนเป็นชั้นหมุนวนทางตอนใน Bednarski, 1987 และ อภิชัย, 2540.

**วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

1. ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยก (Separation Efficiency, Eff) ขนาดตัด (Cut size, d50) ดัชนีความคม (Sharpness Index , I) และอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio, C) ในการแยกอนุภาคซิลิกาที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร

2. เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปปรับปรุงชุดไฮโดรไซโคลน และเป็นประโยชน์ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

**ขอบเขตการวิจัย**

ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกของแข็งออกจากของเหลว ดัชนีความคม ขนาดตัดและอัตราส่วนความเข้มข้นของไฮโดรไซโคลน ได้แก่ อัตราการไหลของของผสมที่ทางเข้าไฮโดรไซโคลน คือ 1.000 , 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ร้อยละของของแข็งที่ผสมกับของเหลวซึ่งในที่นี้คือซิลิการ้อยละ 2 อัตราส่วนการไหลคือ 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25

**การทบทวนวรรณกรรม**

1. แนวคิดหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพการแยก

ประสิทธิภาพการแยก คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่แยกออกมาได้ต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้าไฮโดรไซโคลน ดังสมการ

$$Eff = \frac{m_u}{m_f} \tag{1}$$

เมื่อ $m_u$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน

$m_f$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลน

$$m_u = Q_u C_u \tag{2}$$

$$m_f = Q_f C_f \tag{3}$$

เมื่อ $Q_u$ คือ อัตราการไหลของผสมที่ทางออกด้านล่าง (Under flow)

$Q_f$ คือ อัตราการไหลของผสมที่ทางเข้า ( Feed flow rate)

$C_u$ คือ ความเข้มข้นของของแข็งที่ทางออกด้านล่าง (Concentration of under flow)

$C_f$ คือ ความเข้มข้นของของแข็งที่ทางเข้า (Concentration of feed inlet)

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

$$Eff = \frac{Q_u C_u}{Q_f C_f} \tag{4}$$

จากอัตราส่วนการไหล (Flow ratio, Rf ) คือ

$$R_f = \frac{Q_u}{Q_f} \tag{5}$$

และอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration Ratio, C) คือ

$$C = \frac{C_u}{C_f} \tag{6}$$

ขนาดตัด

ตัวแปรตัวนี้ได้นิยามไว้ในตำแหน่งบนกราฟพาทิชัน (Partition) ร้อยละ 50 ของอนุภาคในสารป้อนเข้าของขนาดที่ต้องการต่อทางออกด้านบน นั่นคือขนาดของอนุภาคใด ๆ มีโอกาสที่จะออกที่ทางออกด้านบนเท่ากับโอกาสที่จะออกที่ทางออกด้านล่าง ตำแหน่งนี้แทนด้วย $d_{50}$ ที่ได้จาก Corrected performance curve

ดัชนีความคมของการแยก

ดัชนีความคมของการคัดขนาดขึ้นอยู่กับความชันบริเวณส่วนกลางของกราฟพาทิชัน นั่นคือ ถ้าความชันเข้าใกล้เส้นตรงหมายถึงมีประสิทธิภาพสูง ความชันของกราฟสามารถแสดงได้ตำแหน่งที่ร้อยละ 25 และ 75 ของอนุภาคของสารป้อนเข้าต่ออนุภาคที่ออกที่ช่องทางออกด้านบนแทนด้วยสัญลักษณ์ $d_{25}$ และ $d_{75}$ ตามลำดับ ดัชนีความคมของการแยกหรือเรียกว่า Imperfection (I) แสดงได้เป็น

$$I = \frac{d_{25}}{d_{75}} \tag{7}$$

เมื่อค่า I มากแสดงว่าช่วงระยะระหว่าง $d_{25}$ กับ $d_{75}$ นี้ใกล้กันนั่นหมายถึงประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลนนี้มีค่าสูงและกระบวนการแยกนี้เกิดขึ้นสมบูรณ์ ในทางกลับกันถ้าช่วงระยะห่างระหว่าง $d_{25}$ กับ $d_{75}$ กว้างแสดงว่าความคมของการแยกต่ำและประสิทธิภาพในการแยกต่ำ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

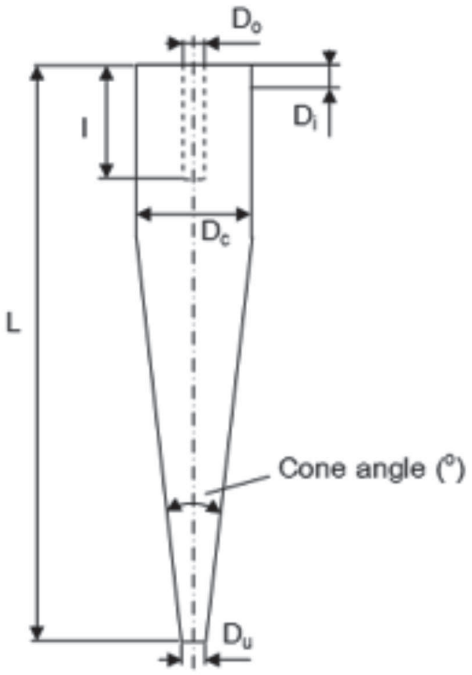
กฤษดา, 2555 ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคซิลิกาออกจากของเหลวโดยชุดทดลองไฮโดรไซโคลนที่ต่อแบบอนุกรม ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราการไหลเข้าและขนาดอนุภาค จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลเข้ามากส่งผลถึงประสิทธิภาพการแยกดีกว่าอัตราการไหลเข้าน้อย อนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

โสภิดา, 2556 ได้ทำการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 40 มิลลิเมตร ในการแยกซิลิกาออกจากน้ำ ตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลเข้าและอัตราส่วนการไหล ซึ่งตัวแปรทั้งสองส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยก ขนาดตัด และดัชนีดัชนีความคมของไฮโดรไซโคลน เมื่ออัตราการไหลเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพและดัชนีดัชนีความคมมีค่าเพิ่มมากขึ้นในขณะเดียวกันจะทำให้ขนาดตัดมีค่าน้อยลง แต่เมื่ออัตราส่วนการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำดัชนีความคมมีค่าน้อยลง

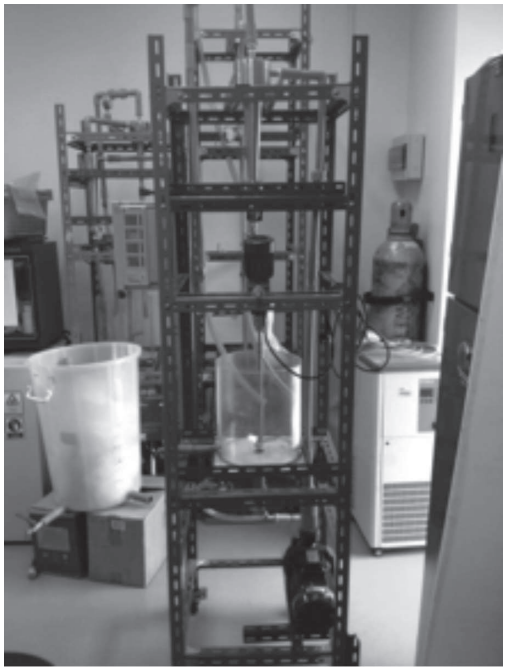
**วิธีดำเนินการวิจัย**

อุปกรณ์

ไฮโดรไซโคลนชนิดที่ใช้ในการทดลองแยกของแข็งออกจากของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ได้ออกแบบโดยใช้ขนาดสัดส่วนตามงานวิจัยของ Wongsarivej, 2005 โดยมีรูปของไฮโดรไซโคลนตามรูปที่ 1 และรูปที่ 2 โดยความสัมพันธ์ส่วนต่าง ๆ ตามตารางที่ 1




รูปที่ 1 อัตราส่วนต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลน ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์การทดลองไฮโดรไซโคลน

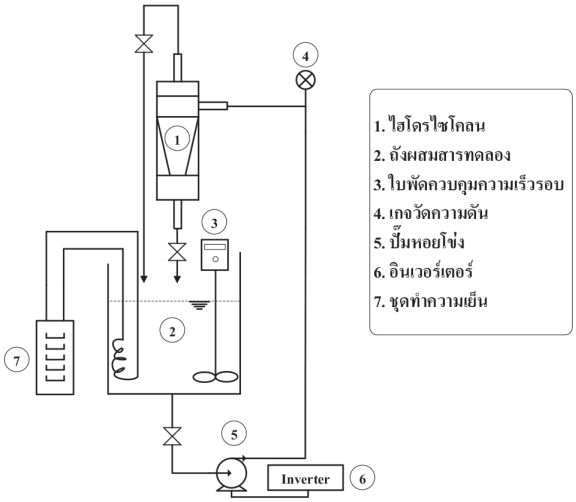
ตารางที่ 1 อัตราส่วนขนาดต่าง ๆ ของไฮโดรไซโคลน

| $D_i/D_c$ | $D_o/D_c$ | $D_u/D_c$ | $l/D_c$ | $L/D_c$ | Cone angle (o) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 0.16 | 0.2 | 1.0 | 7.68 | 7.68 |

$D_c$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone diameter)
L คือ ความยาวของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone length)
l คือ ความยาวของช่องทางออกด้านบนที่ยื่นเข้ามาภายในไฮโดรไซโคลน (Vortex finder)
$D_i$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (Inlet diameter )
$D_o$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow diameter )
$D_u$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow diameter )
$\theta$ คือ มุมของกรวย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีส่วนประกอบคือ ปั๊ม อินเวอร์เตอร์ ใช้ปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าปั๊มสำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เกจวัดความดัน ท่อสแตนเลสขนาด 1 นิ้ว เกจวาล์วและบอลวาล์วขนาด 1 นิ้ว โครงสร้างสำหรับติดตั้งและอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ ถังอะคริลิก

ใบพัด กวนสาร นาฬิกาจับเวลา ชุดหล่อเย็น ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร




รูปที่ 3 แผนภาพชุดทดลองไฮโดรไซโคลนอุปกรณ์การทดลองไฮโดรไซโคลน

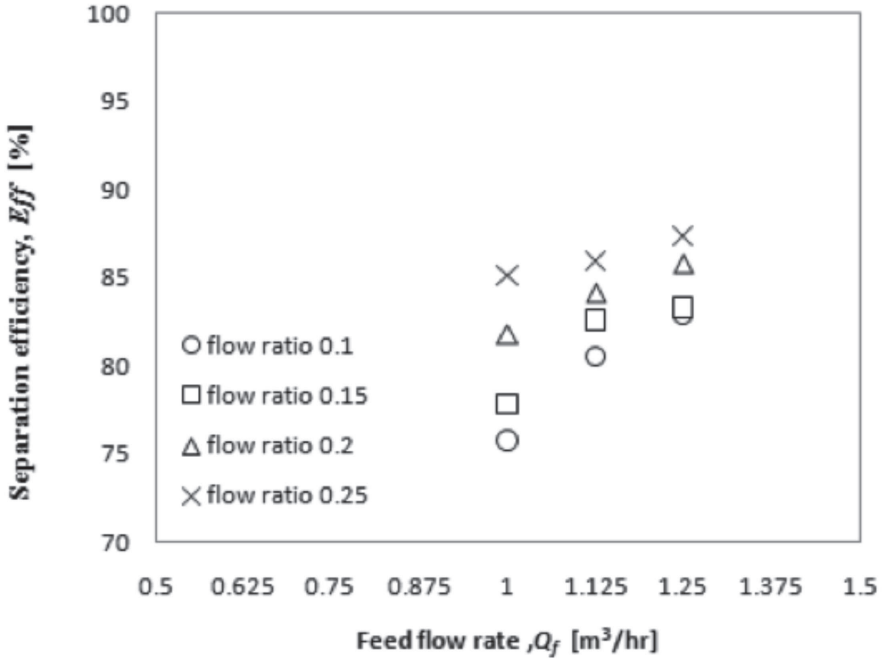
**วิธีการทดลอง**

1. เตรียมน้ำปริมาณ 6 ลิตร และอนุภาคซิลิกา FB-5D ปริมาณ 120 กรัม (2%Solid)
2. ปรับใบพัดควบคุมความเร็วรอบที่ 250 รอบต่อนาที
3. ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อปรับอัตราการไหลให้ได้ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
4. ปรับอัตราส่วนการไหลของไฮโดรไซโคลนให้ได้ 0.10 โดยการหมุนวาล์วที่ทางออกด้านล่าง
5. เมื่อเดินเครื่องชุดทดลองจนสารทดลองเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) และอุณหภูมิของสารทดลองเท่ากับ 30±1 องศาเซลเซียส (ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้คอยล์หล่อเย็น) เก็บตัวอย่างสารทดลองที่ทางเข้า ทางออกด้านล่างและทางออกด้านบนของไฮโดรไซโคลนทั้งสองตัว โดยเก็บตัวอย่างละ 100 มิลลิลิตร
6. เก็บตัวอย่างในส่วนทางเข้า ทางออกด้านบนและทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนที่จะนำไปตรวจวัดวิเคราะห์ผลการกระจายอนุภาคตัวอย่างละ 30 มิลลิลิตร
7. นำตัวอย่างที่เก็บได้ 100 มิลลิลิตร ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหยออกจนเหลือเพียงปริมาณอนุภาคซิลิกา
8. บันทึกข้อมูลในตารางเก็บผลการทดลองและบันทึกน้ำหนักของอนุภาคซิลิกา FB-5D ที่ผ่านการอบ
9. ปรับอัตราส่วนการไหลของไฮโดรไซโคลนให้ได้ 0.15, 0.20, 0.25 และทำการทดลองซ้ำ
10. เปลี่ยนอัตราการไหลที่ทางเข้าเป็น 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และทำการทดลองซ้ำ

**ผลการวิจัย**

ผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาค

ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคนอกจากรูปแบบของไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบแล้วอัตราการไหลเข้าของของผสมที่ไหลเข้าไฮโดรไซโคลนก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญและส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาค

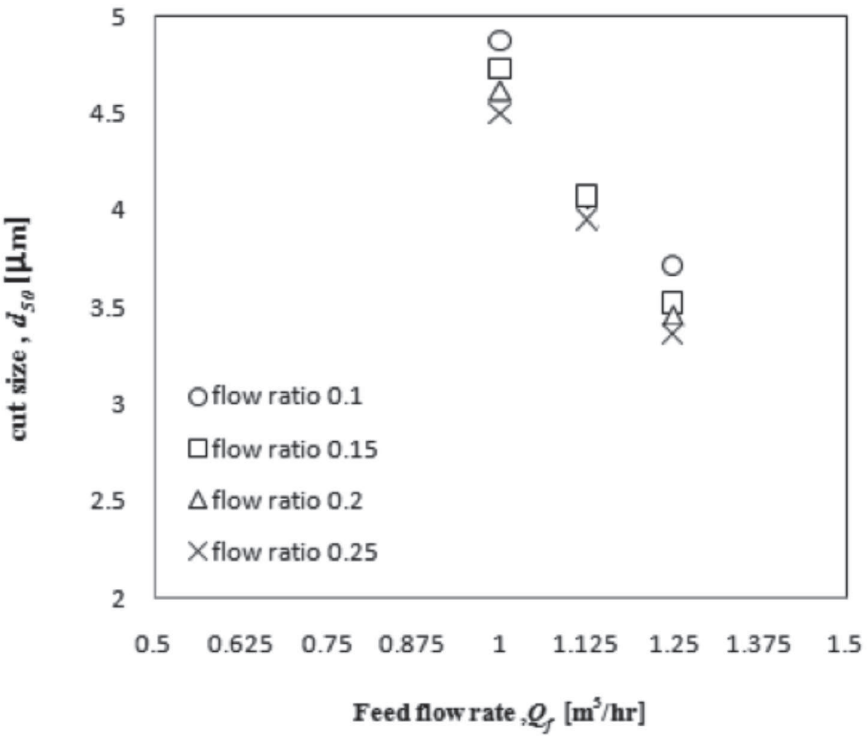



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกที่อัตราส่วนการไหลต่าง ๆ

จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลเข้าเมื่อทดลองด้วยซิลิกาขนาด FB-5D พบว่าที่อัตราส่วนการไหล 0.25 ที่อัตราการไหลเข้า 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคมีค่าร้อยละ 85.1, 85.9 และ 87.3 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่ออัตราการไหลเข้ามีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพการแยกก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วยเนื่องจากความเร็วของของผสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงแยกที่เพิ่มขึ้นการแยกอนุภาคจึงกระทำได้ง่ายขึ้น

**ผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อขนาดตัด**

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อขนาดตัดโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร อัตราการไหลเข้าเท่ากับ 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อัตราส่วนการไหล 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ได้ผลของการศึกษาแสดงดังรูปที่ 5

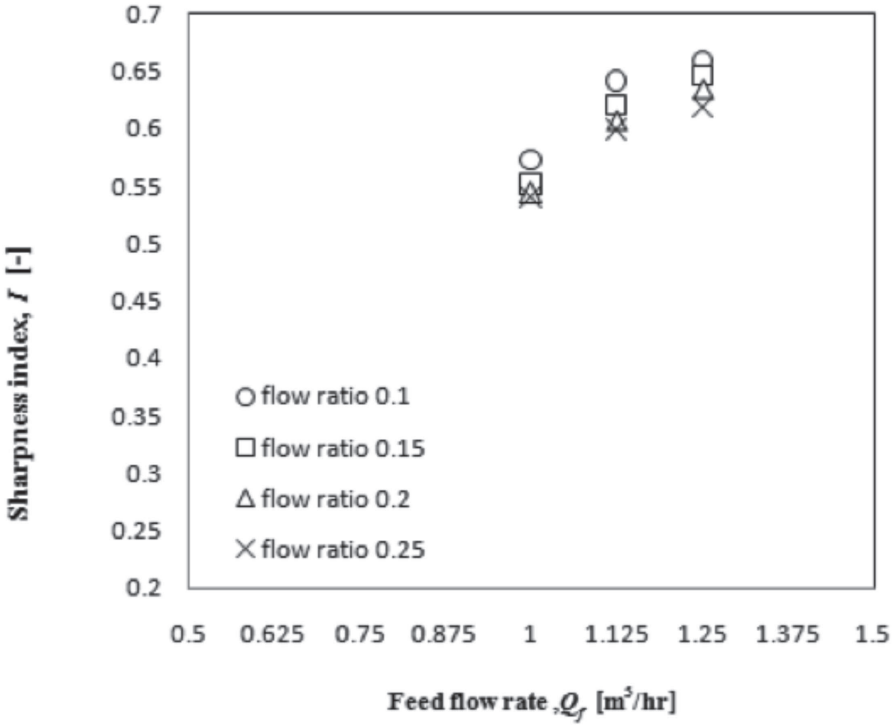



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัดและอัตราการไหลเข้าที่อัตราส่วนการไหลต่าง ๆ

จากรูปที่ 5 พบว่าที่อัตราส่วนการไหล 0.25 ที่อัตราการไหลเข้า 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดตัดของอนุภาคจะมีค่า 4.49, 3.94 และ 3.35 ไมโครเมตร เมื่ออัตราการไหลเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นขนาดตัดจะมีค่าลดลง ในกรณีที่อัตราการไหลเข้ามีค่าน้อยความเร็วที่ทางเข้าของอนุภาคจะมีค่าน้อยด้วย ทำให้การแยกอนุภาคกระทำได้ไม่ดีนักแต่ในกรณีที่อัตราการไหลมีค่ามากความเร็วของอนุภาคจะมีค่ามาก อนุภาคสามารถวิ่งผ่านแรงต้านของของเหลวได้ดี นอกจากนี้สำหรับในกรณีที่อัตราส่วนการไหลมาก อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เมื่อถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนเหวี่ยงให้ไหลลงสู่ด้านล่างแล้วจะมีโอกาสที่จะไหลย้อนออกสู่ด้านบนของไฮโดรไซโคลนน้อยกว่าในกรณีที่มีอัตราส่วนการไหลน้อย

**ผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อดัชนีความคม**

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่อดัชนีความคมโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร อัตราการไหลเข้าเท่ากับ 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อัตราส่วนการไหล 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ได้ผลของการศึกษาแสดงดังรูปที่ 6

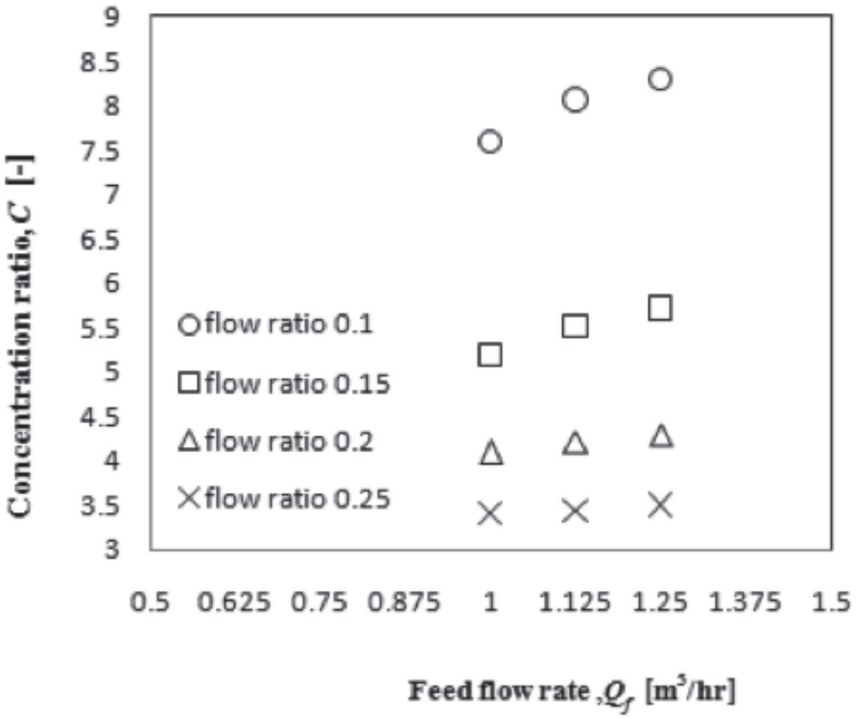



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความคมและอัตราการไหลที่อัตราส่วนการไหลต่าง ๆ

จากรูปที่ 6 พบว่าที่อัตราส่วนการไหล 0.25 ที่อัตราการไหลเข้า 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดัชนีความคมของอนุภาคจะมีค่า 0.54, 0.59, และ 0.61 ตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลเข้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ดัชนีความคมนั้นมีค่ามากขึ้นด้วยเนื่องจากเมื่ออัตราการไหลมากขึ้นจะทำให้อนุภาคที่เป็นของแข็งเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นส่งผลให้การแยกนั้นทำได้ง่ายขึ้น

**ผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่ออัตราส่วนความเข้มข้น**

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าที่มีต่ออัตราส่วนความเข้มข้นโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร อัตราการไหลเข้าเท่ากับ 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อัตราส่วนการไหล 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ได้ผลของการศึกษาแสดงดังรูปที่ 7




รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นและอัตราการไหลเข้าที่อัตราส่วนการไหลต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนความเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากความเร็วขาเข้าของซิลิกาและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่มากขึ้น ที่อัตราส่วนการไหลเข้า 0.25 อัตราการไหล 1.000, 1.125 และ 1.250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่ามีอัตราส่วนความเข้มข้น 3.40, 3.43 และ 3.49 ตามลำดับ

**การอภิปรายผล**

จากผลการวิจัยซึ่งพบว่าอัตราการไหลที่มากขึ้นสามารถทำให้ประสิทธิภาพการแยกและดัชนีความคมและอัตราส่วนความเข้มข้นมากขึ้นในขณะเดียวกันจะทำให้ขนาดตัดมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับโสภิดา, 2556 ที่พบว่าเมื่ออัตราการไหลเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพและดัชนีความคมมีค่าเพิ่มมากขึ้น

**เอกสารอ้างอิง**

อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. (2540). **ไฮโดรไซโคลนกับการแยกอนุภาคและคัดขนาด.** วิศวกรรมสาร ม.ข. ปีที่ 2 ฉบับที่ 2: 79-95.

กฤษดา อาภาทองรัตน์. (2555). **การศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนที่ต่อแบบอนุกรมสำหรับการแยกอนุภาคซิลิก้าออกจากของเหลว.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม.

โสภิดา เป้งทอง. (2556). **ผลของอัตราการไหลเข้าและอัตราส่วนการไหลที่มีต่อขนาดตัด ดัชนีความคม และประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 40 มิลลิเมตร.** การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 1 การส่งเสริมความรู้เชิงบูรณาการสู่ประชาคมอาเซียน ณ อาคารเอนกประสงค์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.

Bednarski, S. and Listewnik, J. (1987). **Hydrocyclones for simultaneous removal of oil and solid particles from ship oily water.** 3rd International Conference on Hydrocyclone. 30 September – 2 October 1987, Oxford, England, pp. 181-192.

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