

การศึกษาสมรรถนะเชิงทดลองของการแยกตะกอนโดยชุดไฮโดรไซโคลน

An Experimental Performance Study of Particle Classification in Hydrocyclone

ศิลาพันธ์ ประทุมทิพย์, สมิต์ เอี่ยมสอาด และ วิษณุ มีย้อย
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
โทร 66(2) 988-3666 ต่อ 241, โทรสาร 66(2) 988-3666 ต่อ 241, E-Mail: pslilaporn@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาดังการแยกตะกอนโดยใช้ชุดไฮโดรไซโคลน ซึ่งทำการศึกษาดังผลกระทบของความยาว รูปร่างลักษณะของทอเวอร์เท็กซ์แบบมีเกลียวและทอธรรมดาต่อค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอน โดยทำการใช้ทรายเป็นอนุภาคที่ถูกแยกออกจากน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาดคือ $425\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$ และ $600\ \mu\text{m}$ ท่อไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 136 mm และมีมุมเรียวของท่อ 20 องศา จากการทดลองพบว่าทอเวอร์เท็กซ์ B2 แบบมีเกลียว จะให้ประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 96% ที่ขนาดความยาวทอเวอร์เท็กซ์ 104 mm อัตราการไหล 60 l/min และค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมในการแยกตะกอนของชุดไฮโดรไซโคลนจะมีค่าเท่ากับ 60 l/min โดยมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนเฉลี่ยของทอเวอร์เท็กซ์ทั้ง 4 แบบ เท่ากับ 92%

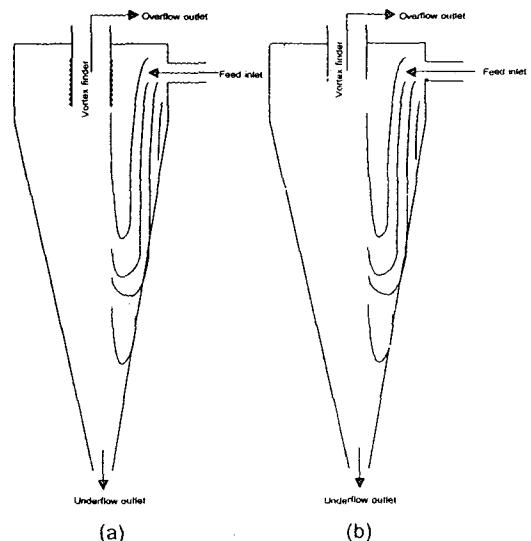
Abstract

This paper presents the use of hydrocyclone for particle separation. Four different types of vortex finders were used in this study. Length and smoothness of vortex finders are parameters investigated. The efficiency of the system was measured for sand particle separation. The results found that vortex finders type B2 (long screw finder) exhibited the highest removal efficiency (96%) at the liquid flowrate of 60 l/min. The optimum flowrate for this system was found at 60 l/min with average efficiency of 92%.

1. บทนำ

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกตะกอนที่เป็นอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว โดยอาศัยแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นภายในไฮโดรไซโคลน ของแข็งจะถูกเหวี่ยงติดที่ผนังท่อและไหลออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน (Underflow outlet) และของไหลส่วนที่ต้องการแยกจากอนุภาคจะไหลออกที่ด้านบนของท่อไฮโดรไซโคลน (Overflow outlet) ดังรูปที่ 1 อุปกรณ์

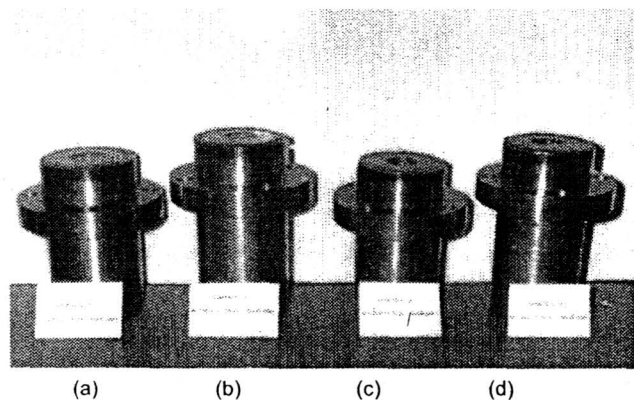
ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ขนาดกลางและทำงานในขณะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งมีความสะดวกในการทำงานที่ต้องการแยกอนุภาคอย่างรวดเร็ว โดยในปัจจุบันได้นำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมประเภทเหมืองแร่ ผลิตแปง ในปี 1965 Bradley.D [1] พบว่าความดันตกคล่อมระหว่างที่ทางเข้าและทางออกขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน ขนาดของท่อที่ทางเข้าทางออกและความเร็วที่ป้อนเข้าในไฮโดรไซโคลน ในปี 1978 Runner.V.G และ Cohen.H.E [2] ได้แสดงลักษณะของการกระจายอนุภาคในท่อไฮโดรไซโคลนด้วยกัน 4 ส่วน ตามลักษณะของขนาดอนุภาค ในปี 1980 Svarovsky.L [3] พบว่าท่อไฮโดรไซโคลนจะมีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดที่ค่าความดันตกคล่อมในช่วง 4.9-87.02 Psi โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไฮโดรไซโคลนในช่วง 1-250 cm Reitema พบว่าขนาดความยาวที่เหมาะสมกับท่อไฮโดรไซโคลนจะอยู่ในช่วง 20-30 องศา หากความยาวของท่อต่ำกว่า 20 องศา ของไหลและตะกอนจะไหลลงที่ด้านล่างของท่อไฮโดรไซโคลนในขณะที่ท่อมีความยาวสูงกว่า 30 องศา จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของการแยกตะกอนมีค่าต่ำลง



รูปที่ 1 ลักษณะของท่อไฮโดรไซโคลน

- (a) ท่อไฮโดรไซโคลนที่มี Vortex finder แบบมีเกลียวยาว
(b) ท่อไฮโดรไซโคลนที่มี Vortex finder แบบไม่มีเกลียว

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาดังผลกระทบของความยาวและรูปร่างลักษณะของท่อวอร์เทกซ์แบบมีเกลียวและท่อธรรมดาต่อประสิทธิภาพในการแยกตะกอน โดยทำการออกแบบชุดท่อวอร์เทกซ์ด้วยกัน 4 แบบคือ ท่อวอร์เทกซ์แบบ A1, B1 ที่มีความยาวของท่อที่ยื่นเข้าไปในชุดไฮโดรไซโคลอนเท่ากับ 84.4 mm ซึ่งเป็นลักษณะท่อกลมธรรมดาและแบบมีเกลียว ท่อวอร์เทกซ์แบบ A2, B2 ที่มีความยาวของท่อที่ยื่นเข้าไปในชุดไฮโดรไซโคลอนเท่ากับ 104 mm ซึ่งเป็นลักษณะท่อกลมธรรมดาและแบบมีเกลียวดังรูปที่ 2 และได้แสดงรายละเอียดของชุดทดลองการแยกตะกอนด้วยไฮโดรไซโคลอนดังตารางที่ 1



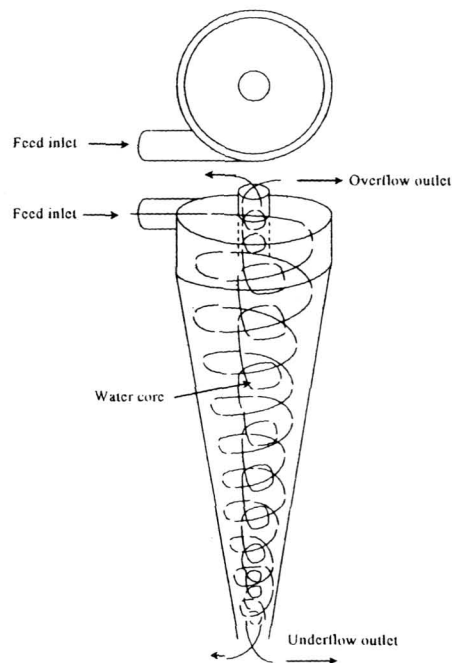
รูปที่ 2 ชุดท่อวอร์เทกซ์แบบ (a) A1, (b) A2, (c) B1 และ (d) B2

ตารางที่ 1 ลักษณะของท่อวอร์เทกซ์และท่อไฮโดรไซโคลอน

ลักษณะท่อวอร์เทกซ์	คุณสมบัติ
1.ท่อวอร์เทกซ์ A1	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 46 mm แบบท่อตรง ความยาวท่อ 84 mm
2.ท่อวอร์เทกซ์ A2	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 46 mm แบบท่อตรง ความยาวท่อ 104 mm
3.ท่อวอร์เทกซ์ B1	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 46 mm แบบท่อมี่เกลียว ความยาวท่อ 84 mm
4.ท่อวอร์เทกซ์ B2	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 46 mm แบบท่อมี่เกลียว ความยาวท่อ 104 mm
ลักษณะของท่อไฮโดรไซโคลอน	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรไซโคลอน 136 mm เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 43 mm มุมเรียวของท่อ 20 องศา วัสดุ เรซินใส
คุณสมบัติที่ทางเข้า	ค่าอัตราการไหลของน้ำ 30-80 l/min จำนวนรูทางเข้า 1 รู ของไหล น้ำ อุณหภูมิของน้ำ 29 °C น้ำหนักทราย 600 g

2. ทฤษฎี

หลักการของไฮโดรไซโคลอนจะทำการนำของเหลวที่มีตะกอนปนมาป้อนเข้าสู่ด้านบนของท่อทรงกระบอก(Feed inlet) โดยจะไหลเข้ามาในแนวเส้นมุมสัมผัสกับท่อไฮโดรไซโคลอน เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ท่อไฮโดรไซโคลอนจะเกิดการไหลวนลักษณะเกลียวภายในท่อเกิดขึ้นตามรูปที่ 3 อนุภาคของแข็งจะถูกดันไปอยู่ที่ผนังด้วยแรงเหวี่ยงจากการไหลของน้ำเข้าสู่ที่ผนังท่อ การไหลในเกลียววนนอกจะไหลลงมาด้านล่างตามความเร็วของท่อไฮโดรไซโคลอน(Underflow outlet) ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลวนเป็นเกลียวด้านในอีกชั้นหนึ่งและลอยขึ้นที่กึ่งกลางของท่อไฮโดรไซโคลอน การไหลวนที่ย้อนกลับเป็นเกลียวขึ้นมาเรียกว่าการไหลในแบบบังคับ(Force vortex) โดยอนุภาคบางส่วนจะไหลย้อนขึ้นด้านบน(Overflow outlet) ตามแนวแกนของท่อน้ำ(water core) โดยของไหลที่ไหลออกมาทางด้านบน(Overflow outlet) จะมีค่าประมาณ 95% ส่วนที่เหลือจะไหลสู่ด้านล่างของท่อไฮโดรไซโคลอน(Underflow outlet) โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจะถูกเหวี่ยงออกไปที่ผนังท่อและไหลลงสู่ด้านล่าง ในขณะที่อนุภาคที่เล็กกว่าจะเคลื่อนที่ไหลออกด้านบน



รูปที่ 3 ลักษณะการไหลภายในท่อไฮโดรไซโคลอน

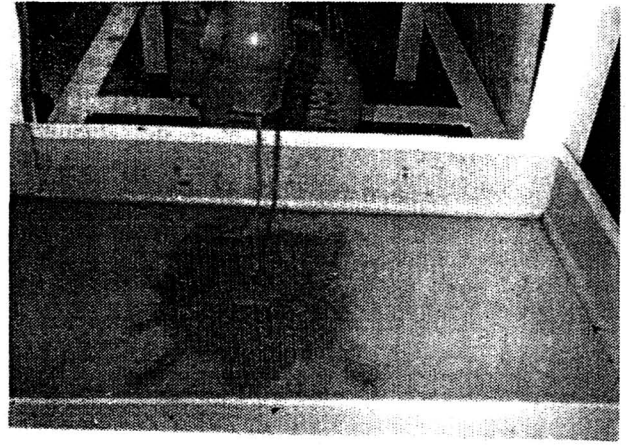
ประสิทธิภาพในการแยกตะกอนของไฮโดรไซโคลอนสามารถที่ทำการหาได้จากสมการ []

$$\eta = [M_1 / M_{in} - (M_{in} - (M_1 + M_2)) / M_{in}] \times 100 \% \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ η เป็นประสิทธิภาพในการแยกตะกอนของไฮโดรไซโคลอน M_{in} , M_1 และ M_2 เป็นน้ำหนักทรายก่อนที่จะทำการแยกโดยไฮโดรไซโคลอน(kg), เป็นน้ำหนักทรายที่ไหลแยกออกที่ทางส่วนล่างของไฮโดรไซโคลอน(kg) และน้ำหนักทรายที่ไหลแยกออกที่ทางส่วนบนของไฮโดรไซโคลอน(kg)ตามลำดับ โดยค่า $M_{in} - (M_1 + M_2)$ เป็นน้ำหนักทรายที่ยังคงค้างอยู่ในชุดการทดลอง

3. การทดลอง

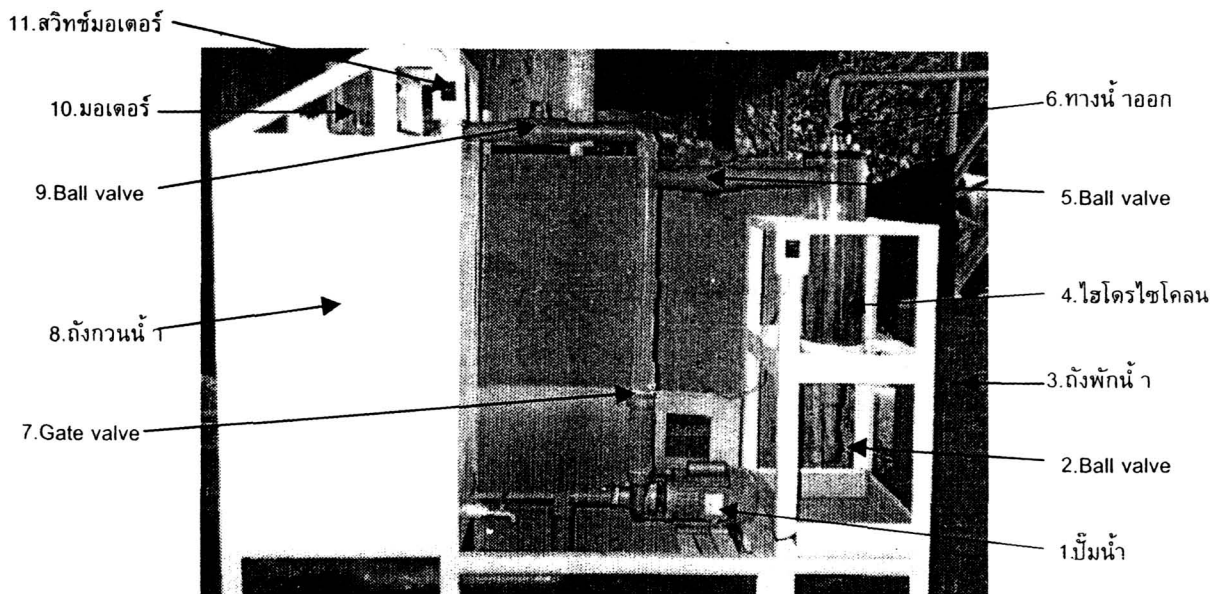
การทดลองการแยกตะกอนของทรายในน้ำโดยใช้ชุดไฮโดรไลโคลน จะทำการเลือกใช้ท่อวอร์เทกซ์ติดตั้งที่ปลายท่อน้ำด้านนอกด้านบน(6)ของไฮโดรไลโคลนด้วยกัน 4 แบบตามรูปที่ 2 ในการที่เตรียมน้ำผสมทรายก่อนที่จะเข้าเครื่องแยกตะกอน ซึ่งทำการเลือกใช้ทรายด้วยกัน 3 ขนาดซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $425\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$ และ $600\ \mu\text{m}$ โดยได้ทำการเตรียมทรายโดยการนำไปอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $150\ ^\circ\text{C}$ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงและนำมาชั่งในขนาดละ 200 g ซึ่งทรายทั้ง 3 ขนาดจะมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 600 g โดยนำทรายมาผสมกับน้ำในถังกวน(8) น้ำและทรายจะถูกกวนโดยใบกวนและมอเตอร์(10)จะถูกควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ความเร็วรอบที่เหมาะสม น้ำจะถูกดูดผ่านปั้มน้ำ(1)และวาล์วควบคุมการไหล(7)ของน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ไฮโดรไลโคลน(4) โดยน้ำจะไหลผ่านเข้าไปและเกิดการหมุนภายในท่อไฮโดรไลโคลน ซึ่งน้ำจะไหลแยกออกมาสองทางคือ ที่ท่อวอร์เทกซ์ด้านบนของไฮโดรไลโคลน(6) โดยน้ำที่ไหลออกมาจะมีทรายที่ออกมากับน้ำในปริมาณที่ไม่มากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณทรายที่ออกที่ปลายด้านล่างของท่อไฮโดรไลโคลน(2)ตามรูปที่ 4 ปริมาณของน้ำที่ไหลออกมาที่ทางออกทั้ง 2 จะถูกทำการวัดเทียบปริมาตรน้ำที่ถังพักน้ำ(3) และนำทรายที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $150\ ^\circ\text{C}$ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงจนแห้งและนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแยกตะกอน โดยจะทำการทดลองในช่วงค่าอัตราการไหลตั้งแต่ 30-80 l/min และทำการเปลี่ยนชุดท่อวอร์เทกซ์เพื่อแยกตะกอนด้วยกัน 4 แบบ ซึ่งเป็นแบบท่อตรงธรรมดาและท่อที่มีเกลียวที่ปลายท่อที่มีขนาดความยาวท่อวอร์เทกซ์ที่แตกต่างกัน 2 ขนาด โดยชุดทดลองการแยกตะกอนโดยไฮโดรไลโคลนได้แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 เม็ดทรายที่ถูกแยกออกมาที่ปลายท่อไฮโดรไลโคลน

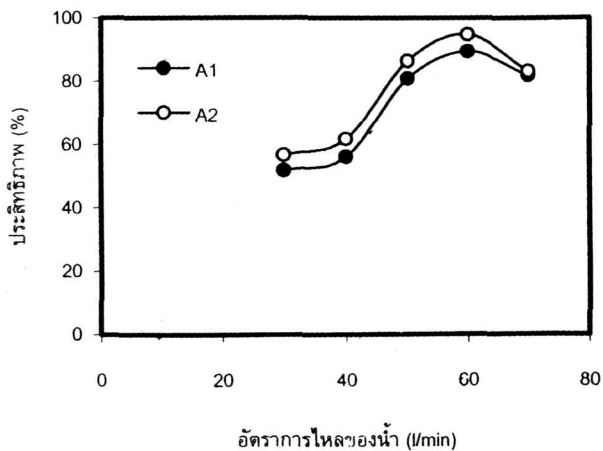
4. ผลการทดลอง

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 6 พบว่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนของท่อไฮโดรไลโคลนโดยการสวมใส่ท่อวอร์เทกซ์แบบ A1 ที่ทางน้ำออกด้านบน ที่ช่วงค่าอัตราการไหลที่ 30-60 l/min จะมีค่าประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเรื่อยๆและหลังจากนั้นจะมีค่าประสิทธิภาพการแยกตะกอนที่ลดลงจนถึงค่าอัตราการไหลที่ 80 l/min โดยจะทำการแยกตะกอนและได้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 52% ที่ค่าอัตราการไหล 30 l/min และจะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดที่ 89% ที่ค่าอัตราการไหลเท่ากับ 60 l/min สำหรับท่อวอร์เทกซ์แบบ A2 จะทำการแยกตะกอนโดยจะได้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 57% ที่ค่าอัตราการไหล 30 l/min และจะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดที่ 94% ที่ค่าอัตราการไหลเท่ากับ 60 l/min และในความสัมพันธ์ในรูปที่ 7 พบว่าท่อวอร์เทกซ์แบบ B1

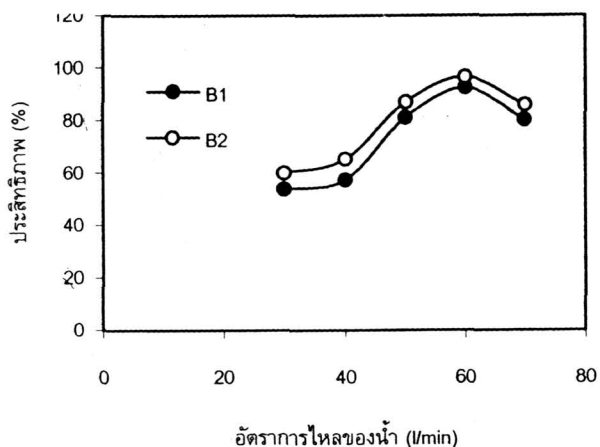


รูปที่ 5 ชุดทดลองการแยกตะกอนโดยไฮโดรไลโคลน

และ B2 ที่เป็นแบบมีเกลียวที่ท่อ จะทำการแยกตะกอนตะกอนและได้ประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 54% ที่ท่อวอร์เทกซ์แบบ B1 และ 60% ที่ท่อวอร์เทกซ์แบบ B2 ที่ค่าอัตราการไหล 30 l/min และจะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดที่ 92% ที่ท่อวอร์เทกซ์แบบ B1 และ 96% ที่ท่อวอร์เทกซ์แบบ B2 ที่ค่าอัตราการไหลเท่ากับ 60 l/min



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของท่อวอร์เทกซ์แบบ A1 A2



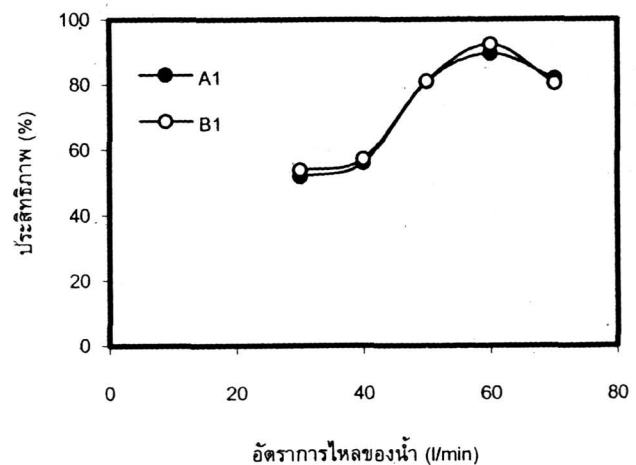
รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของท่อวอร์เทกซ์แบบ B1 B2

4.1 ผลกระทบของการเพิ่มความยาวท่อวอร์เทกซ์ต่อค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอน

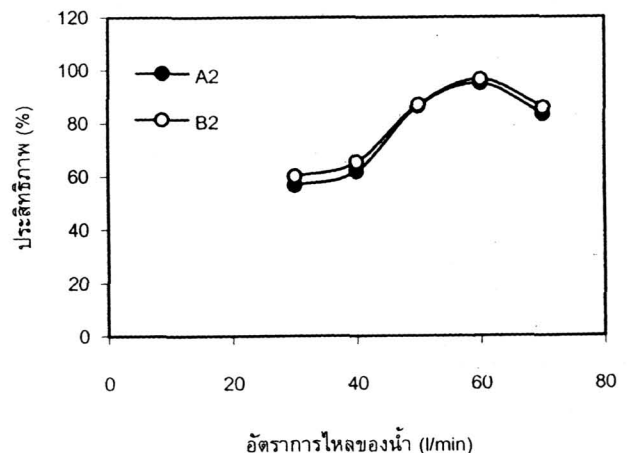
จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 6-7 พบว่าท่อวอร์เทกซ์แบบ A1 และท่อวอร์เทกซ์แบบ A2 ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 84 mm และ 104 mm ท่อวอร์เทกซ์แบบท่อตรง A2 จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่สูงกว่าท่อวอร์เทกซ์แบบท่อตรง A1 เท่ากับ 5% ในช่วงค่าอัตราการไหล 60 l/min และในขณะที่ท่อวอร์เทกซ์แบบมีเกลียว B1 และท่อวอร์เทกซ์แบบมีเกลียว B2 ที่มีความยาวเท่ากับ 84 mm และ 104 mm ท่อวอร์เทกซ์แบบ B2 จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่สูงกว่าท่อวอร์เทกซ์แบบ B1 เท่ากับ 4% ที่ค่าอัตราการไหล 60 l/min

4.2 ผลกระทบของลักษณะท่อวอร์เทกซ์แบบท่อตรงและแบบมีเกลียวต่อค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอน

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 8-9 พบว่าท่อวอร์เทกซ์แบบท่อตรง A1 จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่ต่ำกว่าท่อวอร์เทกซ์แบบมีเกลียว B1 เท่ากับ 3% ที่ขนาดความยาวท่อเท่ากับ 84 mm ในช่วงค่าอัตราการไหล 60 l/min และในขณะที่ท่อวอร์เทกซ์แบบท่อตรง A2 จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่ต่ำกว่าท่อวอร์เทกซ์แบบมีเกลียว B2 เท่ากับ 2% ที่ขนาดความยาวท่อเท่ากับ 104 mm ที่ค่าอัตราการไหล 60 l/min



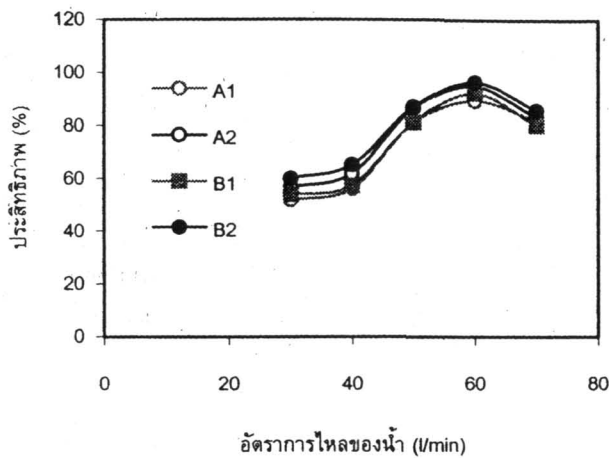
รูปที่ 8 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของท่อวอร์เทกซ์แบบ A1 B1



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนของท่อวอร์เทกซ์แบบ A2 B2

5. สรุปผลการทดลอง

ในความสัมพันธ์ของน้ำที่ตกทรายก่อนเข้าท่อไฮโดรไซโคลนและน้ำตกหลังจากการออกจากไฮโดรไซโคลนจะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของท่อวอร์เทกซ์ที่ยื่นเข้าไปในท่อไฮโดรไซโคลนและปลายท่อวอร์เทกซ์ที่มีลักษณะเกลียวที่ปลายท่อ ซึ่งในรูปที่ 10 พบว่า



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพการแยกตะกอนที่ทอเวอร์เทกซ์แบบต่างๆ

ทอเวอร์เทกซ์ที่มีความยาวมากกว่าจะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่สูงกว่าทอที่มีความยาวต่ำกว่า ในขณะที่ทอที่มีเกลียวที่ขนาดความยาวทอที่เท่ากับทอแบบมีเกลียวจะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนที่สูงกว่าแบบทอตรง โดยทอเวอร์เทกซ์ B2 แบบมีเกลียวและความยาวทอ 104 mm จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 96%, ทอเวอร์เทกซ์ A2 แบบทอตรงและความยาวทอ 104 mm จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 94%, ทอเวอร์เทกซ์ B1 แบบมีเกลียวและความยาวทอ 84 mm จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 92% และทอเวอร์เทกซ์ A1 แบบทอตรงและความยาวทอ 84 mm จะมีค่าประสิทธิภาพในการแยกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 89% ตามลำดับที่ค่าอัตราการไหล 60 l/min และประสิทธิภาพในการแยกตะกอนของเฉลี่ยของทอเวอร์เทกซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ค่าอัตราการไหล 60 l/min มีค่าเท่ากับ 92% ในขณะที่ค่าอัตราการไหล 30,40,50,70 และ 80 l/min มีค่าเท่ากับ 60%,65%,87%,86% และ 84%

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ นาย ศรยุทธ กอเข้ม และนาย บัญชา บุญเอก ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลของผลการทดลองในทุกความฉบับนี้

หนังสืออ้างอิง

- [1] Bradley.D," The Hydrocyclone, Pergamon Press", Oxford, 1965
- [2] Runner.V.G and Cohen.H.E," Measurement and interpretation of size distribution of particle within a hydrocyclone", Tran.IMM. , Sec.C, 87 ,P 139 ,June 197
- [3] Svarovsky.L. ,"Critical evaluation of the sample way to determining the cut size in hydrocyclone" (ed. G.Priestley and H.S.Stephens), BHRA Fluid Engineering, Cranfield ,1980