ผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่อขนาดตัด อัตราส่วนการไหล และประสิทธิภาพ โดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร สำหรับ การแยกซิลิกาขนาดเล็ก

Effect of inclination of Hydrocyclone on Cut size, Flow ratio and Separation Efficiency using a 30 mm Hydrocyclone for Separating Fine Silica

ธีร์ธวัช สงค์ประหยัด[1] , กฤศ มณีวงศ์[2] ฉัตรชัย นิมมล[3] , อนุชา หิรัญวัฒน์[4] , พิชัย สร้อยสน[5] , และประธาน วงศ์ศริเวช[6]

บทคัดย่อ

สำหรับอุตสาหกรรมทั่วไปในปัจจุบันเทคโนโลยีการแยกอนุภาคเป็นสิ่งที่น่าสนใจและจำเป็น งานวิจัยครั้งนี้เป็นการใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่อขนาดตัด อัตราส่วนการไหลและประสิทธิภาพการแยก โดยมุมองศาที่ศึกษาคือ 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ และใช้อัตราการไหลเข้าที่ศึกษาคือ 0.6, 0.7 และ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สารผสมที่ใช้ในการทดลองคือซิลิกาผสมกับน้ำ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของของแข็งร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าเมื่อองศาที่ใช้ในการเอียงไฮโดรไซโคลนมากขึ้นจะส่งผลต่อขนาดตัดให้มีค่าลดลงแต่ประสิทธิภาพการแยกจะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามองศาการเอียงไฮโดรไซโคลนจะไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนการไหล

คำสำคัญ: ขนาดตัด, การเอียง, ไฮโดรไซโคลน

Abstract

Recently most industries, interest in particle separation technology. In this research, 30 mm hydrocyclone was used to study effects of inclination of hydrocyclone on cut size, flow ratio and separation efficiency. The investigated inclination were 30, 45, 60 and 90 degrees from horizontal position. The studied feed flow rate were 0.6, 0.7 and 0.8 m^3/hr. The tested suspension was the mixture of silica and water. The silica particles

[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800 ประเทศไทย

[5,6] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

have an average size of 9 micrometer at the solid concentration of 0.5% w/v. From the experimental results, when the inclination of hydrocyclone increases will affect to decrease the cut size but increase the separation efficiency. However, the inclination of hydrocyclone will not affect to the flow ratio.

Keywords: Cut size, Inclination, Hydrocyclone

บทนำ

ไฮโดรไซโคลน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกของผสมระหว่างของแข็ง-ของเหลว หรือ ของเหลว-ของเหลว ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน อย่างเช่น การแยกผงดินที่ละเอียดมากๆออกจากน้ำอ้อย เป็นต้น ไฮโดรไซโคลนถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหาร ฯลฯ

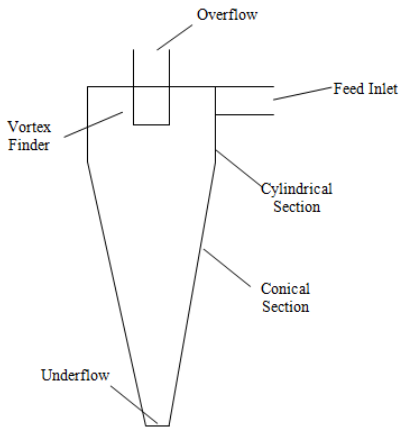
การทำงานของไฮโดรไซโคลนจะใช้กลไกแยกสาร ในระบบที่มีของแข็งปนอยู่กับของเหลวจะไหลผ่านท่อโดยใช้แรงดันจากปั๊มเข้าสู่ทางเข้าไฮโดรไซโคลนที่เรียกว่า Feed Inlet จากนั้นจะอาศัยหลักการเคลื่อนที่แบบหมุนทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สารที่เป็นของเหลวหรือสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนเข้าสู่ศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนโดยจะไหลออกทางด้านบนเรียกว่า Overflow ส่วนของแข็งหรือสารที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนออกจากศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนโดยจะไหลออกทางด้านล่างเรียกว่า Underflow

ไฮโดรไซโคลนโดยทั่วไปจะติดตั้งแบบตั้งตรง แต่บางกรณีก็มีการติดตั้งแบบเอียงทำมุมต่างๆกับแนวระดับจนเกือบจะเป็นแนวนอน เพื่อสะดวกต่อการติดตั้งในพื้นที่แต่ละประเภท แต่ประสิทธิภาพของการเอียงไฮโดรไซโคลนอาจจะแตกต่างจากการติดตั้งไฮโดรไซโคลนแบบแนวตั้ง โดยเฉพาะในไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดใหญ่ ความดันต่ำ ดังในกรณีการเอียงองศาไฮโดรไซโคลน Bradley ซึ่งเป็นการศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนที่ความดันต่ำ ซึ่งทำงานขณะที่ไฮโดรไซโคลนวางในแนวนอน ทำให้ปริมาณน้ำที่ออกจาก underflow และการหมุนโคจรภายในไฮโดรไซโคลนนั้นลดลง และเอกสารอ้างอิงอื่นๆ [3-6]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลขององศาการเอียงของไฮโดรไซโคลนที่มีต่อขนาดตัด อัตราการไหล และประสิทธิภาพเพื่อการปรับปรุงพัฒนาไฮโดรไซโคลนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ไฮโดรไซโคลนที่ใช้สำหรับทดลองการแยกของแข็งออกจากของเหลวนั้นได้ออกแบบโดยใช้สัดส่วนตามงานวิจัยของ Wongsarivej et al. โดยมีความสัมพันธ์ตามอัตราส่วนในการออกแบบและรูปแบบของไฮโดรไซโคลนดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของไฮโดรไซโคลน

ตารางที่ 1 ค่าสัดส่วนที่แนะนำของ Wongsarivejetal.

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 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน

D_u คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง

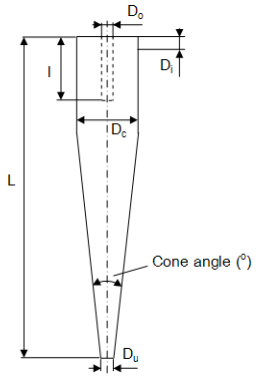
L คือ ความยาวของไฮโดรไซโคลน

l คือ ความยาวของทางออกด้านบนไฮโดรไซโคลน

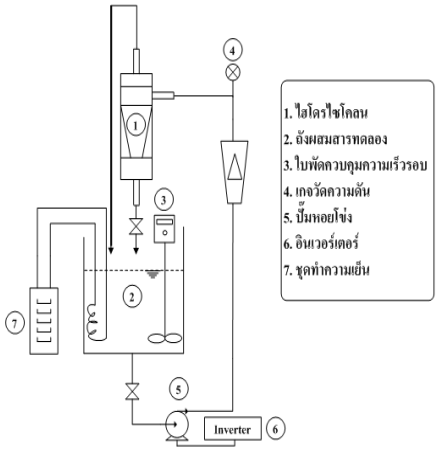
θ คือ มุมของกรวย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นซิลิกาผงที่ใช้แทนอนุภาคของของแข็ง งานวิจัยนี้ใช้ซิลิกาในการทดลองชนิด FB-8S ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (ประมาณ 9 ไมครอน) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยแสดงในรูปที่ 2-6 ซึ่งมีส่วนประกอบคือ ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร ปั๊ม อินเวอร์เตอร์ ใช้ปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าปั๊มสำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เกจวัดความดัน ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว เกจวาล์วและบอลวาล์วขนาด 1 นิ้ว โครงสร้างสำหรับติดตั้งและอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ถังอะคริลิก ใบพัดกวนสาร นาฬิกาจับเวลา ชุดหล่อเย็น ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร



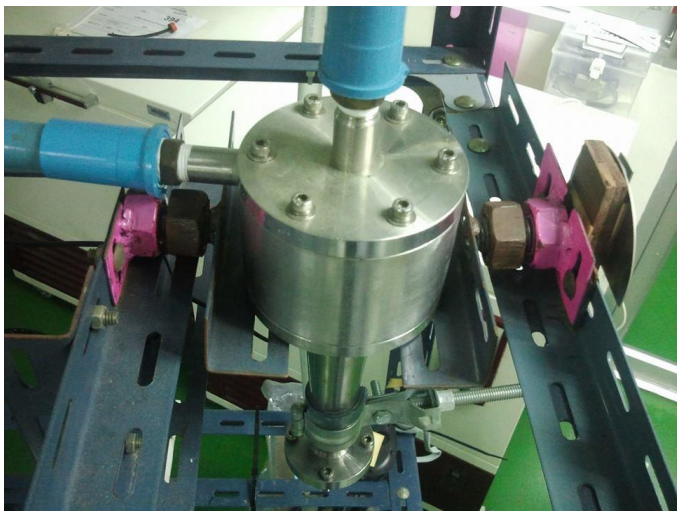
รูปที่ 2 อัตราส่วนต่างๆของไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 แผนภาพชุดการทดลองไฮโดรไซโคลน

รูปที่ 4 โครงสร้างไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 5 อุปกรณ์การเอียงองศา



รูปที่ 6 ชุดการจับยึดไฮโดรไซโคลน

วิธีการทดลอง

ติดตั้งไฮโดรไซโคลนเข้ากับชุดโครงสร้างจากนั้นทำการปรับเอียงองศาของไฮโดรไซโคลนที่ 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ จากนั้นเตรียมของเหลวผสมกับของแข็งใส่ในถังอะคริลิก ความเข้มข้นสารแขวนลอยซิลิกาขาเข้าที่ ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เปิดปั๊มเริ่มการทำงานของระบบเพื่อดูดของเหลวผสมเข้าสู่ระบบที่ได้ปรับมุมตามองศสที่กำหนดโดยควบคุมให้อัตราการไหลที่ทางเข้าเท่ากับ 0.6, 0.7 และ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นนำของผสมที่แยกออกได้มาตรวจวัดอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer2000 เพื่อวิเคราะห์และหาขนาดอนุภาคในการคำนวณประสิทธิภาพการแยก ในการทดลองมีการทำการทดลองซ้ำ 1-2 ครั้ง เป็นอย่างน้อย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่อขนาดตัด (Cut size, d_{50}) อัตราส่วนการไหล และประสิทธิภาพ ในการแยกซิลิกาที่มีอนุภาคขนาด 9 ไมโครเมตร ออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

ประสิทธิภาพการแยก (Separation Efficiency, *Eff*) คืออัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่แยกออกมาที่ทางออกด้านล่างต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้าดังสมการ

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

เมื่อ m_u คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางออกด้านล่าง

m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคของแข็งที่ทางเข้าเมื่อ

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

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

เมื่อ Q_u คือ อัตราการไหลของผสมที่ทางออกด้านล่าง

Q_f คือ อัตราการไหลของผสมที่ทางเข้า

C_u คือ ความเข้มข้นที่ทางออกด้านล่าง

C_f คือ ความเข้มข้นที่ทางเข้า

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

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

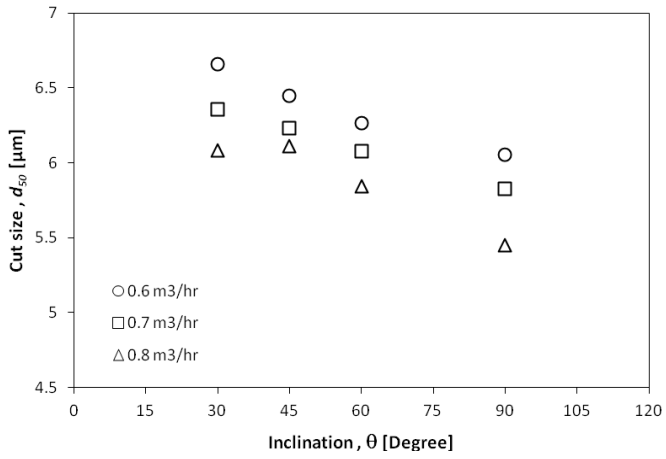
จากอัตราส่วนการไหล (Flow ratio, R_f) คือ

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

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่อขนาดตัด

โดยทั่วไปตัวแปรตัวนี้ได้นิยามไว้ในตำแหน่งบนกราฟพาร์ทิชันร้อยละ 50 นั่นคือขนาดของอนุภาคใดๆมีโอกาสที่จะออกที่ทางออกด้านล่างและด้านบนเท่าๆกัน ตำแหน่งนี้แทนด้วย d_{50}



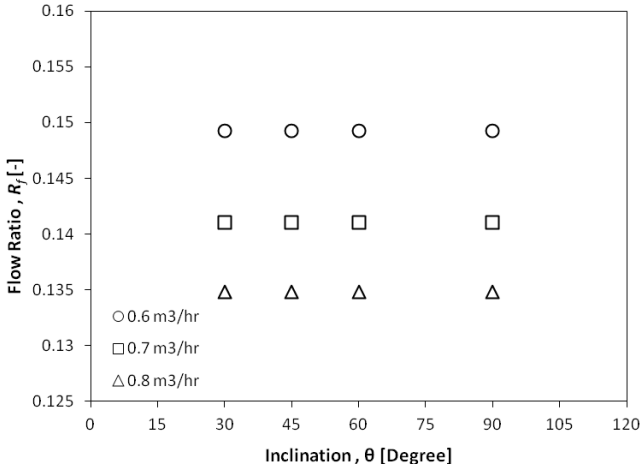
รูปที่ 7 ขนาดตัดที่องศาการเอียงและอัตราการไหลต่างๆ

จากรูปที่ 7 เมื่อศึกษาขนาดตัดของการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยทำการทดลองที่อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยใช้องศาการเอียงเท่ากับ 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ พบว่าจะได้ขนาดตัดเท่ากับ 6.08, 6.11, 5.84 และ 5.45 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อองศาการเอียงจากแนวระดับเพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดตัดมีค่าลดลง เนื่องจากยิ่งมีการเอียงมุม

องศาให้ตั้งฉากกับแนวระดับมากเท่าไหร่จะทำให้การเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในตัวไฮโดรไซโคลนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพร่วมกับแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้

ผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่ออัตราส่วนการไหล

อัตราส่วนการไหลเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของช่องทางออกด้านล่างต่ออัตราการไหลที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลน

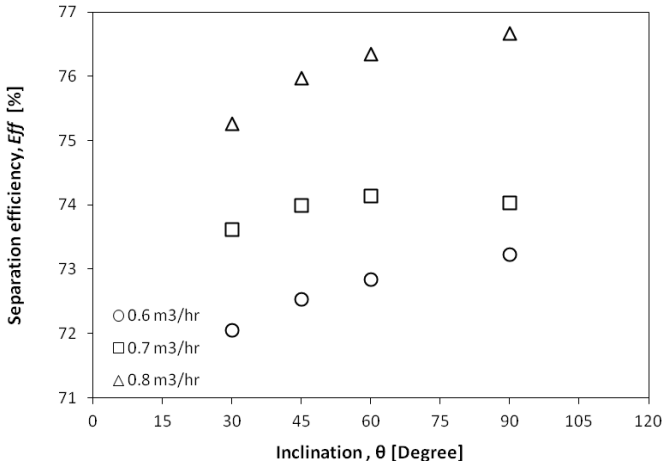


รูปที่ 8 อัตราส่วนการไหลที่องศาการเอียงและอัตราการไหลต่างๆ

จากรูปที่ 8 เมื่อศึกษาอัตราส่วนการไหลของการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยทำการทดลองที่อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยใช้องศาการเอียงเท่ากับ 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ พบว่าจะได้อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.13 เช่นเดียวกันทุกองศา ดังนั้นองศาการเอียงจากแนวระดับจึงไม่มีผลกับอัตราส่วนการไหล

ผลขององศาการเอียงไฮโดรไซโคลนที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตร ที่องศาต่างๆ ความเข้มข้นของซิลิการ้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ได้ประสิทธิภาพการแยกที่อัตราส่วนการไหลแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการแยกที่องศาการเอียงและอัตราการไหลต่างๆ

เมื่อพิจารณารูปที่ 9 ในกรณีที่องศาการเอียงเท่ากับ 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ โดยใช้อัตราการไหลที่ทางเข้า 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าไฮโดรไซโคลนสามารถให้ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำได้ร้อยละ 75.26, 75.97, 76.34 และ 76.67 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเกิดการเอียงองศาจากแนวระดับเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้น เนื่องจากยิ่งมีการเอียงมุมองศาให้ตั้งฉากแนวระดับมากเท่าไหร่จะทำให้การเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในตัวไฮโดรไซโคลนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพร่วมกับแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้เช่นเดียวกับที่ส่งผลกับประสิทธิภาพการแยก

สรุป

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กรณีการเอียงไฮโดรไซโคลน 30, 45, 60 และ 90 องศาจากแนวระดับ พบว่าโฮโดรไซโคลนสามารถให้ค่าของขนาดตัดเท่ากับ 6.08, 6.11, 5.84 และ 5.45 ไมโครเมตรตามลำดับ ในขณะเดียวกันไฮโดรไซโคลนสามารถให้ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาออกจากน้ำได้ถึงร้อยละ 75.26, 75.97, 76.34, และ 76.66 ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนการไหล 0.13 ทุกการเอียงองศา ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีที่ เอียงไฮโดรไซโคลน 90 องศาจากแนวระดับ จะส่งผลทำให้ขนาดตัดมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการแยกจะมีค่าเพิ่มขึ้น และองศาการเอียงไฮโดรไซโคลนจะไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนการไหล

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนเครื่องวัดขนาดอนุภาคในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. (2540). ไฮโดรไซโคลนกับการแยกอนุภาคและคัดขนาด. *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น,* 25(2), 79-95.

Bradley, D. (1960), *The Hydrocyclone*. Pergamon Press.

Hochscheid, (April 1987). R.E., Horizontal cyclone in close-circuit grinding. *Mining Eng*, 262-266.

Johnstone, R.H. & Rais, 79-84 (May 1988). S.A., Increase performance through flash flotation and cyclone optimization. *3rd Mill Ops. Conf.,* (Aus. Inst. Min. Met.),

Orwe, D. & Noreen, D. (May 1988). Horizontal cyclone plant trials at Bougainville. *3rd Mill Ops. Conf.,* Cobar, (Aus. Inst. Min. Met.), 71-77

Schmidt, M.P. & Turner, (Sept 1993). P.A., Flat bottom or horizontal cyclone – which is right for you? World Min. *Equip*., 21-22

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.