

อิทธิพลของความเข้มข้นดินและขนาดทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนในการแยกดินและน้ำอ้อย

Effect of Soil Concentration and Underflow Size of Hydrocyclone on Soil and Sugarcane Juice Separation

ภรณ์ญ รื่นกลิ่น¹, นุชนาท ลาดคุบbon¹, ภูเบศ มีนะโรจน์¹, คณาวุฒิ ศรีระหงส์², ธนิต Sawasdisewi³
ฉัตรชัย นิยมมล⁴, ประธาน วงศ์ศรีเวช⁵

Parunyoo Ruenklin¹, Nootchanat Ladkhubon¹, Pubet Meennaroch¹, Kanawut Srirahong²

Thanit Sawasdisewi³, Chatchai Nimmol⁴, Pratarn Wongsarivej⁵

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์สำหรับแยกของแข็งออกจากของเหลวที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในไฮโดรไซโคลน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มิลลิเมตรในการแยกดินออกจากน้ำอ้อย ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกที่ทำการศึกษาคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน และความเข้มข้นของดิน จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดคัทไซส์ลดลง เนื่องจากเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของน้ำอ้อยที่ทางออกด้านล่างเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้มีปริมาณดินออกมามากขึ้น นอกจากนี้ร้อยละของความเข้มข้นดินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกลดลงเนื่องจากความหนืดของของเหลวที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การแยก ความเข้มข้น ดิน ทางออกด้านล่าง น้ำอ้อย ไฮโดรไซโคลน

Abstract

A Hydrocyclone is a device for separating solids and liquids that have different densities. The concept of centrifugal force is applied. A 30 mm hydrocyclone for separating soil particle from sugarcane juice is studied in this research. The important studied parameters that affect to the separation efficiency are underflow diameter of hydrocyclone and the soil concentration. From the experimental result, it was found that the separation efficiency increased with an increase in the underflow diameter leading to a smaller cut size (d_{50}). When the underflow diameter increased, the flow rate of sugarcane juice at the underflow also increased and led to an increase in the amount of soil. Moreover, when the soil concentration increased, the separation efficiency decreased and that is resulted from the increasing of the liquid viscosity.

Keywords: Separation, Concentration, Soil, Underflow, Sugarcane juice, Hydrocyclone,

¹ นิสิตปริญญาตรี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

² ผู้ช่วยนักวิจัย, ⁴ นักวิจัย, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹ Bachelor degree student, ⁴ Assist. Prof., Faculty Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand.

² Assist. Researcher, ⁵ Researcher, National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 12120, Thailand.

³ Assist. Prof., Faculty School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

* Corresponding author; Pratarn Wongsarivej, National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 12120, Thailand. pratarn@nanotec.or.th

บทนำ

ไฮโดรไซโคลนใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ไฮโดรไซโคลนประกอบด้วยท่อทรงกระบอกทางตอนบน และทางตอนล่างจะมีรูปทรงกรวย ท่อทางเข้าไฮโดรไซโคลนจะติดตั้งอยู่ทางตอนบนโดยอยู่ในแนวเส้นสัมผัสของท่อทรงกระบอก ท่อทางออกของสารมีอยู่ 2 ทาง คือ ทางตอนล่าง (Underflow) และทางตอนบน (Overflow) ของผลสมจะถูกป้อนด้วยความเร็วสูงในแนวเส้นสัมผัสก่อให้เกิดการไหลแบบหมุนวนเป็นวงกลมลงมาจากทางตอนล่าง ลักษณะการไหลวนจะก่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะถูกกระทำจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ผลักให้ไหลไปติดกับผนังภายในเครื่องและหมุนติดผนังไปเรื่อยๆ จนถึงทางออกที่อยู่ทางตอนล่างของไฮโดรไซโคลน อนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะหลุดไปทางตอนล่างด้วยอิทธิพลของความเฉื่อยของสาร ส่วนของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเปลี่ยนทิศทางการไหลโดยหมุนวนขึ้นไปทางตอนบนเป็นชั้นหมุนวนทางตอนใน^{1,2}

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ไฮโดรไซโคลนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแยก ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการแยกได้ เนื่องจากไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่หวัดทำให้บำรุงรักษาง่ายและมีราคาถูก ในอดีตได้มีการศึกษาอย่างยาวนาน

Rietema³⁻⁶ เป็นคนแรกที่เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Residence time) โดยตั้งสมมุติฐานว่าอนุภาคกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัดของทางเข้า ทฤษฎีนี้ใช้สภาวะที่เป็นแบบไม่สมดุล (Non-equilibrium) โดยนิยามว่า ขนาดคัทไซส์ (Cut size, d_{50}) คือขนาดของอนุภาคที่ซึ่งเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนตรงจุดศูนย์กลางของทางเข้าที่ชนผนังไฮโดรไซโคลนในเวลาที่กำหนด Castilho and Medronho⁷ ได้ศึกษาถึงวิธีการออกแบบและทำนายพฤติกรรมไฮโดรไซโคลนอย่างง่ายตามคำแนะนำของ Bradley และ Rietema ซึ่งคำแนะนำของทั้งสองคนนี้เป็นที่รู้จักดีในการนำมาใช้ออกแบบไฮโดรไซโคลน โดยศึกษาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ สำหรับในประเทศไทย Wongsarivej et al.⁸ ได้ศึกษาการคัดแยกขนาดอนุภาคของซิลิกา (silica) โดยใช้ไฮโดรไซโคลนไฟฟ้า (Electrical hydrocyclone) ซึ่งใช้น้ำที่มีซิลิกาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 754 นาโนเมตร ปะปนอยู่โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ไปทดสอบกับไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม.

ปัจจุบันระบบที่ใช้ในการแยกดินออกจากน้ำอ้อยของโรงงานผลิตน้ำตาลจะใช้ถังพักใสเพื่อให้ดินและสิ่งเจือปนเกิดการตกตะกอนและแยกชั้นออกจากน้ำอ้อย ระบบดังกล่าวใช้เวลานานทำให้น้ำตาลบางส่วนเกิดการเสียสภาพ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำไฮโดรไซโคลนมาช่วยในการแยกดินเพื่อให้การผลิตสามารถดำเนินต่อไปได้เร็วยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกและขนาดคัทไซส์ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนและร้อยละของความเข้มข้นของดิน

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์

ไฮโดรไซโคลนที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดที่ใช้แยกของแข็งออกจากของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ซึ่งได้ออกแบบโดยใช้ขนาดสัดส่วนตามงานวิจัยของ Wongsarivej et al.⁸ โดยมีความสัมพันธ์ส่วนต่างๆตาม Table 1 และรูปของไฮโดรไซโคลนตาม Figure 1

Table 1 Hydrocyclone proportions

D_i/D_c	D_o/D_c	D_u/D_c	L/D_c	L/D_c	Cone angle (°)
0.2	0.16	0.2	1.0	7.68	7.68

D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน

L คือ ความยาวของไฮโดรไซโคลน

I คือ ความยาวของช่องทางออกด้านบนที่ยื่นเข้ามาภายในไฮโดรไซโคลน (Vortex finder)

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (Inlet)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านบน (Overflow)

D_u คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง (Underflow)

θ คือ มุมของกรวย

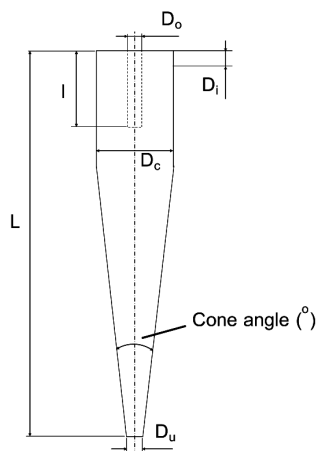


Figure 1 Hydrocyclone proportions

วิธีการทดลอง

แผนภาพและชุดอุปกรณ์การทดลองไฮโดรไซโคลน แสดงไว้ดัง Figure 2 และ 3 ตามลำดับ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ถังสำหรับบรรจุสารทดลองขนาด 15 ลิตร ติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อวัดความดันของกระแสของของไหลขาเข้า บั๊มจะดูดน้ำอ้อยผสมดินที่อยู่ในถังโดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของบั๊มเพื่อปรับอัตราการไหลของของเหลวให้ได้ตามที่ต้องการ น้ำอ้อยจะไหลไปตามท่อผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลและเกจวัดความดันและเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนที่ทางเข้าในแนวสัมผัสกับผนังของไฮโดรไซโคลน น้ำอ้อยที่ผ่านการหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลนแล้วจะออกที่ทางออก 2 ทาง คือ ท่อทางออกด้านบนและด้านล่างของไฮโดรไซโคลนและจะตกลงสู่ถังอีกครั้ง ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนจะมีวาล์วสำหรับปรับขนาดของท่อทางออกด้านล่างเพื่อใช้ในการควบคุมอัตราส่วนการไหลของทางออกด้านล่างต่ออัตราการไหลที่ทางเข้า (Flow ratio, R_F) นอกจากนี้จะมีชุดหล่อเย็นด้วยน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำในถังให้คงที่ 30°C

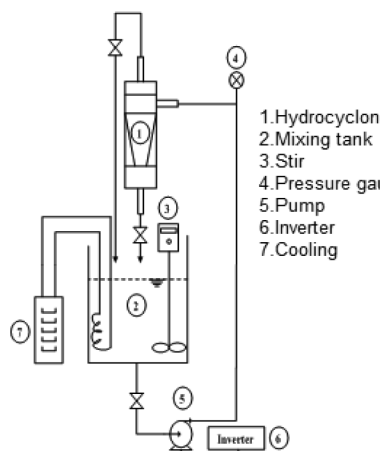


Figure 2 Flow diagram of tested hydrocyclone

อัตราส่วนการไหลของทางออกด้านล่างต่ออัตราการไหลที่ทางเข้า (ไม่มีหน่วย) คำนวณได้จาก

$$R_F = \frac{Q_U}{Q_F} \quad (1)$$

เมื่อ Q_F คือ อัตราการไหลของของเหลวที่ทางเข้าของไฮโดรไซโคลน (ลบม./ชม.)

Q_U คือ อัตราการไหลของของเหลวที่ทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน (ลบม./ชม.)



Figure 3 Photo of hydrocyclone tested rig

ในการทดลองใช้ดินและน้ำอ้อยสังเคราะห์ที่มีความหวาน 15 Brix เป็นสารป้อนที่ใช้ทำการทดลอง และทดลองที่อัตราการไหล 0.5 ลบม./ชม. ความเข้มข้นของดินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนที่ขนาด 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4 มม. ในแต่ละการทดลองได้เก็บตัวอย่างของดินในน้ำอ้อยที่ทางเข้า ทางออกด้านบน และทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาขนาดของดินและการกระจายขนาดอนุภาคดินด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ขนาดอนุภาค Mastersizer (2000) ประสิทธิภาพการแยก (Separation efficiency, EFF) ของไฮโดรไซโคลนคำนวณได้จาก

$$EFF = \left[\frac{Q_U C_U}{Q_U C_U + Q_O C_O} \right] \times 100 \quad (2)$$

- เมื่อ Q_u คือ อัตราการไหลที่ทางออกด้านล่าง
 Q_o คือ อัตราการไหลที่ทางออกด้านบน
 C_u คือ ความเข้มข้นของดินที่ทางออกด้านล่าง
 C_o คือ ความเข้มข้นของดินที่ทางออกด้านบน

ผลการทดลอง

ผลของขนาดทางออกด้านล่าง

เมื่อทำการทดลองแยกดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 มม. ปริมาตรร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก (1% Soil) ออกจากน้ำอ้อยสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 15 brix หรือคิดเป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของน้ำตาลเทียบกับน้ำด้วยไฮโดรไซโคลอนชนิดแยกของแข็งออกจากของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ที่อัตราการไหลของน้ำอ้อยสังเคราะห์ผสมดินที่ทางเข้า 0.5 ลิตร/ชม. ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 มม. จะได้ผลการทดลองดังแสดงใน Figure 4 และ 5

Figure 4 แสดงตัวอย่างการกระจายขนาดอนุภาคของดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อย (Feed) ดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อยส่วนใส (Overflow) และดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อยส่วนข้น (Underflow) ที่ผ่านการแยกด้วยไฮโดรไซโคลอน ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างเท่ากับ 2.5 มม. พบว่าดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อยที่ป้อนเข้าไฮโดรไซโคลอนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (mean) เท่ากับ 8.37 ไมโครเมตร สำหรับดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อยส่วนใสมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 5.41 ไมโครเมตร และดินที่ผสมอยู่ในน้ำอ้อยส่วนข้นมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตรเท่ากับ 14.20 ไมโครเมตร จะเห็นว่าไฮโดรไซโคลอนสามารถแยกอนุภาคดินที่มีขนาดเล็กออกทางกระแสน้ำบน (Overflow) และสามารถแยกอนุภาคดินที่มีขนาดใหญ่ ออกทางกระแสน้ำล่าง (Underflow)

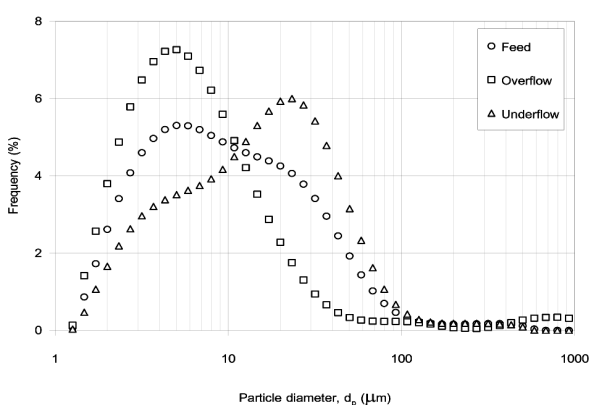


Figure 4 Particle size distributions of Feed, Overflow and Underflow using D_u of 2.5 mm

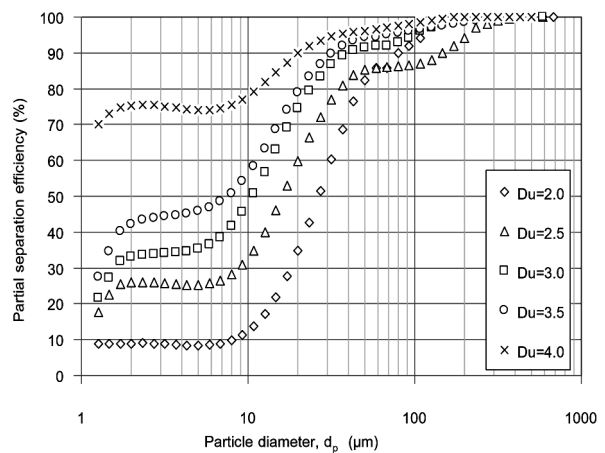


Figure 5 Separation efficiency of hydrocyclone using D_u of 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 and 4.0 mm

Figure 5 แสดงประสิทธิภาพการแยกดินออกจากน้ำอ้อยของไฮโดรไซโคลอนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่างต่างๆ กัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 มม. มีขนาดคัทไซส์ (Cut size, d_{50}) เท่ากับ 28.0 16.0 10.0 และ 7.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 4.0 มม. สามารถแยกดินออกได้มากกว่าร้อยละ 70 ที่ทุกขนาดอนุภาค

ผลของความเข้มข้นของดิน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของดินในน้ำอ้อยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก โดยได้ศึกษาความเข้มข้นของดินร้อยละ 1 และ 2 ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกด้านล่าง 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 มม. ซึ่งแสดงได้ดัง Figure 6 จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการแยกรวมของความเข้มข้นดินร้อยละ 1 มีค่าร้อยละ 45.54 53.01 54.82 61.01 และ 81.13 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นดินร้อยละ 2 ประสิทธิภาพการแยกรวมมีค่าร้อยละ 44.96 50.08 51.27 55.54 และ 66.64 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการแยกรวมของดินที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 จะมีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการแยกรวมของดินที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 อยู่เล็กน้อย ร้อยละของความเข้มข้นของดินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกรวมลดลงและขนาดคัทไซส์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อร้อยละของความเข้มข้นความเข้มข้นของดินเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 2 ความหนืดของน้ำอ้อยจะเพิ่มมากขึ้นจาก 0.002389 เป็น 0.002455 กิโลกรัม/ เมตร.วินาที ส่งผลให้การแยกอนุภาคกระทำได้ยากขึ้น ประสิทธิภาพการแยกจึงมีค่าลดลง

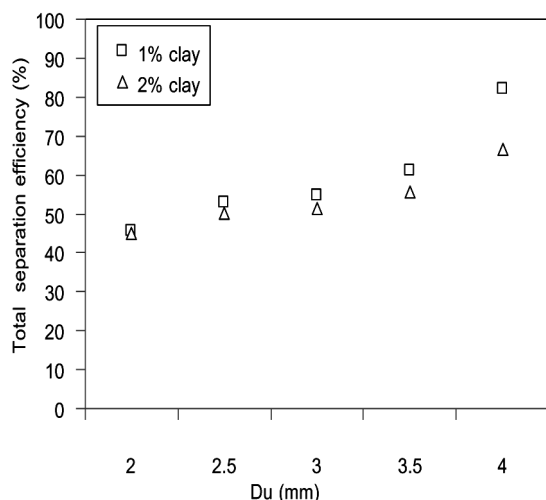


Figure 6 Separation efficiency of hydrocyclone using %clay of 1 and 2

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 30 มม. ในการแยกดินออกจากน้ำอ้อย ตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่ ขนาดช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนและความเข้มข้นของดิน ซึ่งตัวแปรทั้งสองส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยก และขนาดคัทไซส์ของไฮโดรไซโคลน โดยที่ประสิทธิภาพการแยกรวมเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกด้านล่างของไฮโดรไซโคลนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดคัทไซส์จะมีค่าเล็กลง เนื่องจากที่ช่องทางออกขนาดใหญ่ปริมาณของดินจะไหลออกมามากกว่าขนาดช่องทางออกขนาดเล็ก ส่วนร้อยละของความเข้มข้นของดินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกรวมลดลงและขนาดคัทไซส์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อร้อยละของความเข้มข้นความเข้มข้นของดินเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำอ้อยจะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การแยกอนุภาคกระทำได้ยากขึ้น ประสิทธิภาพการแยกจึงมีค่าลดลง

เอกสารอ้างอิง

1. Bednarski S. Listewnik J. Hydrocyclones for simultaneous removal of oil and solid particles from ship oily water. 3rd International Conference on Hydrocyclone. Oxford. England. 1987 30 Sep – 2 Oct;181-192.
2. อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. ไฮโดรไซโคลนกับการแยก อนุภาค และคัตขนาด. วิศวกรรมสาร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 1987;25(2).

3. Rietema K. Performance and design of hydrocyclones-I: general considerations. Chemical Engineering Science. 1961;15(3-4):298-302.
4. Rietema K. Performance and design of hydrocyclones-II: Pressure drop in the hydrocyclone. Chemical Engineering Science. (1961;15(3-4):303-309.
5. Rietema K. Performance and design of hydrocyclones-III: Separating power of the hydrocyclone. Chemical Engineering Science. (1961;15(3-4):310-319.
6. Rietema K. Performance and design of hydrocyclones-IV: Design of hydrocyclones. Chemical Engineering Science. (1961;15(3-4):320-325.
7. Castilho LR. Medronho RA. A Simple procedure for design and performance prediction of bradley and rietema hydrocyclones. Minerals Engineering. (1999;13(2):183-191.
8. Wongsarivej P. Tanthapanichakoon W. Yoshida H. Classification of silica fine particles using a novel electric hydrocyclone. Science and Technology of Advanced Materials. 2005;364-369.