

การพัฒนาตัวป้อนจ่ายวัสดุแบบสกรูในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

พรชัย จงจิตรไพศาล¹

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการที่ทำร่วมกับภาคอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้าง และลดการนำเข้า อุปกรณ์ที่มีราคาแพง ซึ่งสกรูในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม โดยทั่วไปจะใช้สำหรับจ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงที่มีความคมสูง เข้าไปในระบบที่มีความดันสูง โดยการอัดวัสดุให้มีความหนาแน่นมากขึ้นแล้วให้วัสดุทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันการรั่ว โดยงานวิจัยนี้จะใช้สกรูที่แตกต่างกัน

3 ชนิด คือแบบที่มีระยะพิทช์ที่แตกต่างกัน และแบบที่มีขนาดเพลาไม่คงที่ เพื่อการบีบอัดวัสดุด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ผลจากการจ่ายวัสดุเข้าไปในระบบที่มีความดันสูง พบว่าสกรูทั้ง 3 ชนิดนั้นสามารถทำงานได้ดีกับระบบที่มีความดันสูงถึง 1 บรรยากาศ และสามารถนำไปผลิตเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

คำสำคัญ: สกรูป้อนวัสดุ ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โทรศัพท์ 0-2587-4336 อีเมล: pcp@kmutnb.ac.th



Development of Screw Feeder in Pneumatic Conveying System

Pornchai Chongchitpaisan¹

Abstract

This research project was conducted in collaboration with industry to develop the ability to create, and to reduce imports of expensive equipment. Screw in pneumatic conveying systems are typically used for feed high-abrasive powder into a high pressure system by compressing the material has a density greater, the material acts as a seal to prevent leakage.

This research will use three different types of screws with different pitch range, and the shaft diameter. As a result of the material feed into a high pressure system that the three types of screws that can work well in systems with pressure upto one bar, and can be produced commercially in the future.

Keywords: Screw Feeder, Pneumatic Conveyor

¹ Associate Professor, Department of Material Handling Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Tel. 0-2587-4336, E-mail: pcp@kmutnb.ac.th

1. บทนำ

สกรูขนถ่ายวัสดุถูกนำมาใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม จะต้องทำหน้าที่ป้องกันการรั่วของลมอัดที่มีความดันสูงเพิ่มขึ้นอีกด้วย ปัจจุบันเรามีการนำเข้าสู่สกรูขนถ่ายวัสดุสำหรับจ่ายวัสดุในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมที่มีราคาแพงมาก ถ้าเราสามารถผลิตขึ้นใช้เองก็จะสามารถลดการนำเข้า และเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศได้เนื่องจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

จากรูปที่ 1 หลักการทำงานของตัวป้อนจ่ายแบบสกรู Mill, Jones and Argawal [1] ใบสกรูจะมีระยะพิทช์ที่ไม่คงที่ เพื่อทำหน้าที่อัดวัสดุให้มีปริมาตรเล็กลงและให้วัสดุที่ถูกอัดทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันการรั่ว เมื่อวาล์วกักเก็บดังรูปเปิดจากการอัดวัสดุของสกรู ลมอัดที่มีความดันสูงจะพาวัสดุให้ไหลไปในท่อได้โดยไม่มีการรั่วของลมอัดกลับไปยังถังเก็บวัสดุ งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการสร้างสกรูที่สามารถบีบอัดวัสดุ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับคุณสมบัติวัสดุขนถ่าย

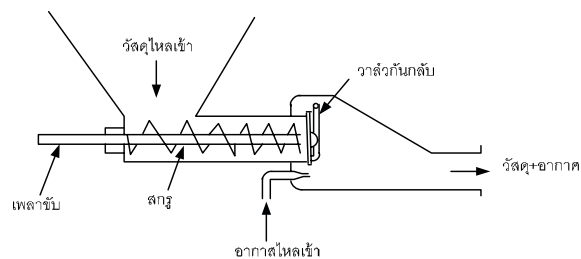
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

วัสดุที่ใช้สำหรับการทดลองคือปูนซีเมนต์ผงซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ Mills [2] ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ ได้แก่ ความหนาแน่นที่ปรากฏ (Bulk Density) ไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นที่ปรากฏของวัสดุ

สถานะของวัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m ³)
Fluidized	900
Poured	1050
Settled	1200
Tapped	1350
Compacted	1600

สำหรับคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุเป็นไปตามตารางที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย จากคุณสมบัติ



รูปที่ 1 ลักษณะของสกรูป้อนวัสดุ

ของวัสดุในสภาวะที่อยู่ในสภาพถูกเหว จนกระทั่งถูกอัดจนแน่นจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 เท่า ดังนั้นสกรูที่ออกแบบจะออกแบบให้มีอัตราการอัดให้ปริมาตรในใบของสกรูลดลงประมาณ 2 เท่า เพื่อให้วัสดุถูกอัดจนแน่นและทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันการรั่วตามที่ต้องการ Van der kool [3] ได้ทำการทดลองสกรูขนถ่ายวัสดุพบว่าระยะพิทช์ที่เหมาะสมจะขึ้นกับคุณสมบัติวัสดุและลักษณะของสกรูโดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในใบสกรูไม่เกิน 3 เท่า

ตารางที่ 2 คุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุ

Average size(μm)	21
Particle density(kg/m ³)	3060
Compaction (%)	40
Sphericity	2.09
Voidage (%)	65
Repose angle (degree)	45

สำหรับรูปร่างของสกรูที่ Roberts [4] ได้ให้สมการความสัมพันธ์ทางการออกแบบของสกรูป้อนที่ระยะพิทช์ไม่คงที่จะแสดงดังรูปที่ 2

$$P(x) = \text{ระยะพิทช์}$$

$$D(x) = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางสกรู}$$

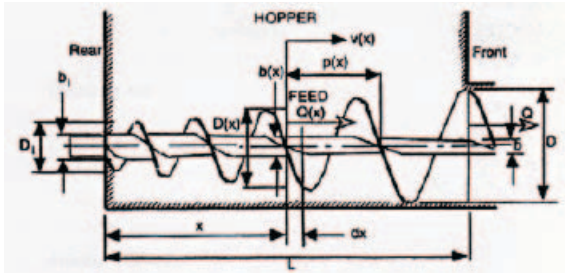
$$B(x) = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเฟลลิ่งสกรู}$$

เมื่อ $x = i$, ค่าตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้คือ

$$P_i = \text{ระยะพิทช์เริ่มต้น}$$

$$D_i = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางสกรูเริ่มต้น}$$

$$B_i = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเฟลลิ่งสกรูเริ่มต้น}$$



รูปที่ 2 ปริมาณการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรู

เมื่อ $x = 0$, ค่าตัวแปรที่ทางออกคือ

P_o = ระยะพิทช์ที่ทางออก

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางสกรูที่ทางออก

B_o = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลาสกรูที่ทางออก

กรณีระยะพิทช์ไม่คงที่

$$P(x) = D \left[C_{31} + (C_{32} - C_{31}) \frac{x}{L} \right] \quad (1)$$

เมื่อ $C_{31} = \frac{P_i}{D}$

$$C_{32} = \frac{P_o}{D}$$

กรณีเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลาสกรูหรือแกนไม่คงที่

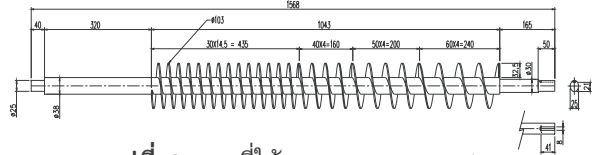
$$B(x) = D \left[C_{21} + (C_{21} - C_{22}) \frac{x}{L} \right] \quad (2)$$

เมื่อ $C_{21} = \frac{B_i}{D}$

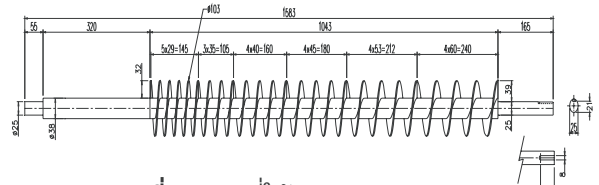
$$C_{22} = \frac{B_o}{D}$$

จากข้อมูลขั้นต้นจึงได้ทำการสร้างสกรูที่มีลักษณะของสกรูสำหรับการทดลองทั้ง 3 แบบ

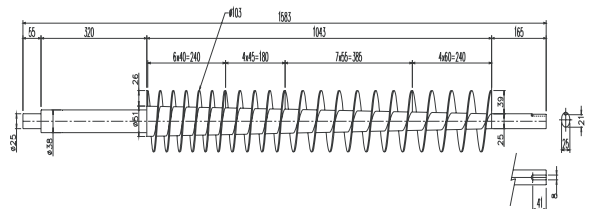
สกรูทั้ง 3 ตัวนั้นมีอัตราส่วนปริมาตรที่ใบสกรูลดลง 2 เท่า ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติ



รูปที่ 3 สกรูที่ใช้ทดลองหมายเลข 1



รูปที่ 4 สกรูที่ใช้ทดลองหมายเลข 2

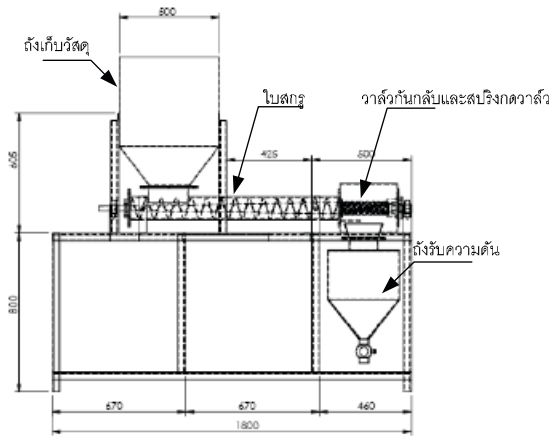


รูปที่ 5 สกรูที่ใช้ทดลองหมายเลข 3

ของวัสดุตามที่ระบุไว้โดย Mills [2] มีอัตราส่วนการอัดวัสดุโดยมีปริมาตรเล็กลงไม่เกิน 3 เท่าตามที่ Van der kool [3] กำหนดไว้และมีรูปร่างสกรูตามสมการของ Roberts [4]

ใบสกรูที่ใช้สำหรับการทดลองดังรูปที่ 3-5 เป็นใบสกรูที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 ชนิดเพื่อทดสอบความสามารถในการจ่ายวัสดุเข้าไปในระบบที่มีความดัน โดยที่สกรูหมายเลข 1 ระยะพิทช์จะลดลงอย่างรวดเร็วเพื่อบีบอัดวัสดุอย่างรวดเร็ว และสกรูหมายเลข 2 จะค่อยๆ ลดระยะพิทช์ของสกรูลงอย่างช้าๆ ส่วนสกรูหมายเลข 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดเพลาระยะพิทช์ ซึ่งทำให้การสร้างทำได้ยากกว่า สกรูหมายเลข 1 และ 2

การจัดสร้างชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยช่างที่มีความชำนาญจากการร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมทำให้ได้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องว่างระหว่างใบสกรูกับตัวเรือน หากมีช่องว่างมากเกินไปจะทำให้เกิดการรั่วมากขึ้นตามไปด้วย



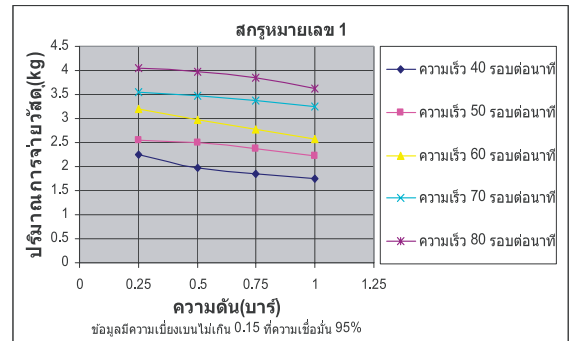
รูปที่ 6 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 6 วัสดุที่อยู่ในถังเก็บวัสดุจะถูกจ่ายด้วยสกรูโดยถูกอัดจนมีปริมาตรเล็กลงและทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันการรั่วของลมอัดผ่านไปที่วาล์วกันกลับที่มีสปริงกดอยู่ ลงมายังถังรับความดันที่มีลมอัดที่ความดันที่กำหนดไว้โดยที่ลมอัดที่ไหลเข้าไปในถังรับความดันจะไหลผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลมแบบ Thermal Mass Flow Meter ซึ่งจะวัดปริมาณลมที่รั่วผ่านโบสกรู

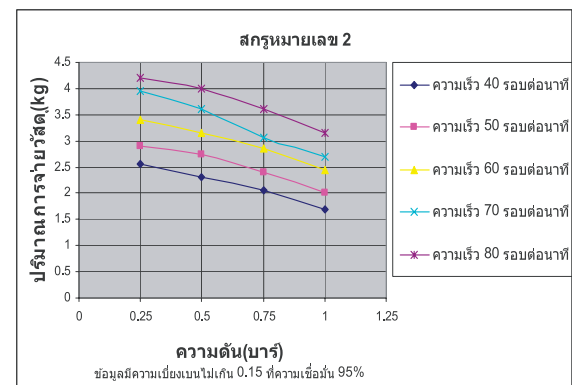
3. ผลการทดลอง

การทดลองโดยใช้ความเร็วรอบและความดันของลมที่แตกต่างกันพบว่าความดันลมไม่เกิน 1 บาร์สกรูทั้งสามตัวจะสามารถทำงานได้ดี แต่ถ้าความดันเกิน 1 บาร์ไปแล้วผลการทดลองจะได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนเนื่องจากการรั่วของลมจนสกรูบางตัวไม่สามารถจ่ายวัสดุเข้าไปในระบบได้ ดังนั้นผลการทดลองจะแสดงข้อมูลที่ความดันสูงสุด 1 บาร์เท่านั้น

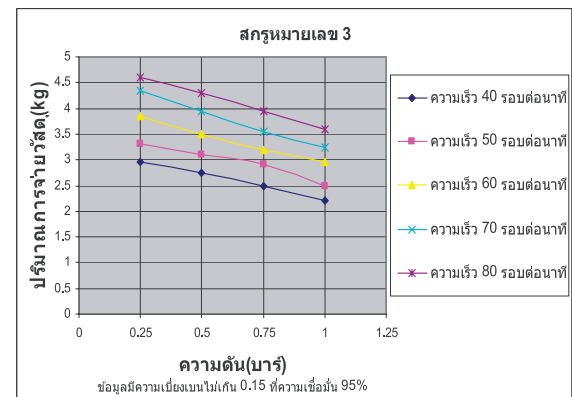
สำหรับปริมาณการจ่ายวัสดุของสกรูแต่ละตัวต่อเวลา 10 นาที ที่ความดันต่างๆ จะได้เป็นดังรูปที่ 7-9 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นก็จะมีผลทำให้การจ่ายวัสดุของสกรูลดลง เนื่องจากวัสดุจะถูกลมที่มีความดัน ผลักดันวัสดุให้ไหลเข้าไปในระบบได้ยากขึ้น ผลการทดลองกำลังที่ใช้สำหรับการจ่ายวัสดุของสกรูแต่ละตัวที่ความดันต่างๆ จะได้เป็นดังรูปที่ 10-12



รูปที่ 7 ปริมาณการจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 1

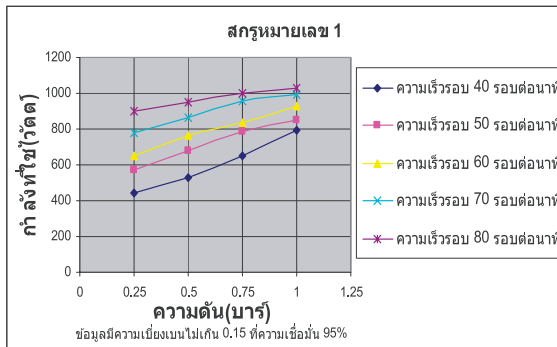


รูปที่ 8 ปริมาณการจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 2

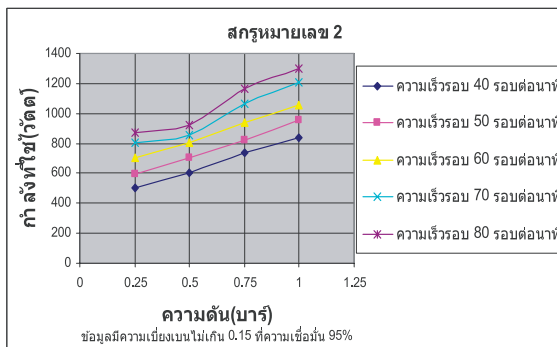


รูปที่ 9 ปริมาณการจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 3

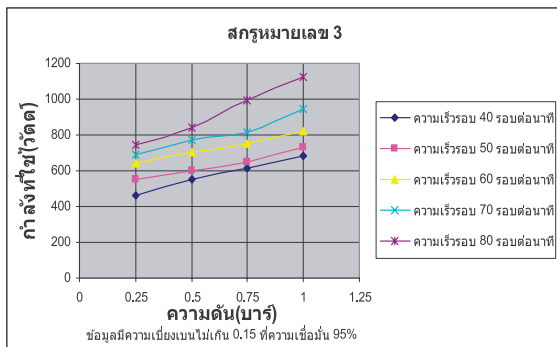
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นต้องใช้กำลังในการขับสกรูเพิ่มขึ้นไปด้วยเนื่องจากต้องเอาชนะแรงต้านทานจากความดันที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 กำลังที่ใช้การจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 1

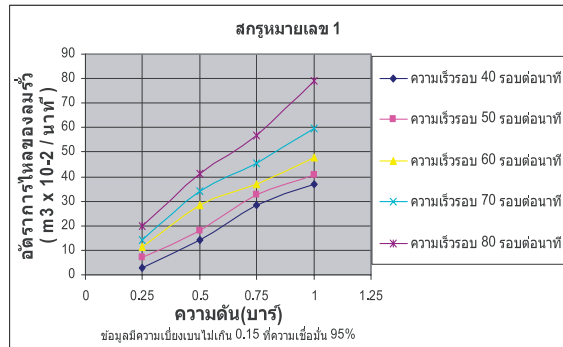


รูปที่ 11 กำลังที่ใช้การจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 2

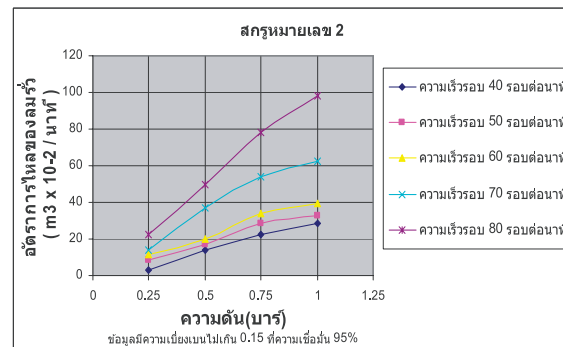


รูปที่ 12 กำหนดที่ใช้การจ่ายวัสดุของสกรูหมายเลข 3

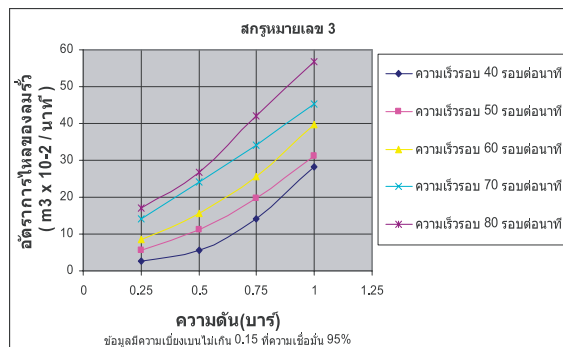
ผลการทดลองการรั่วของลมอัดผ่านใบของสกรูแต่ละตัวที่ความดันต่าง ๆ จะได้ดังรูปที่ 13-15 จากรูปการรั่วของลมอัดผ่านตัวสกรูจะมากขึ้น ตามความดันที่มากขึ้น หากลมรั่วมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถขนถ่ายวัสดุได้ เนื่องจากลมจะผลักดันวัสดุไม่ให้ไหลเข้าไปในระบบได้



รูปที่ 13 ลมรั่วที่สกรูหมายเลข 1 ($\text{m}^3 \times 10^{-2} / \text{นาที}$)



รูปที่ 14 ลมรั่วที่สกรูหมายเลข 2 ($\text{m}^3 \times 10^{-2} / \text{นาที}$)

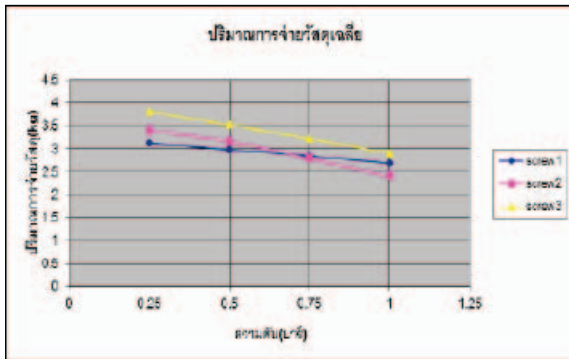


รูปที่ 15 ลมรั่วที่สกรูหมายเลข 3 ($\text{m}^3 \times 10^{-2} / \text{นาที}$)

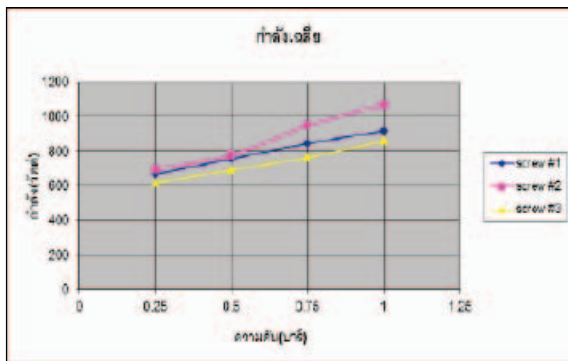
4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดจะทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง โดยที่ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองนั้น มีความเชื่อมั่น 95% และมีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.15

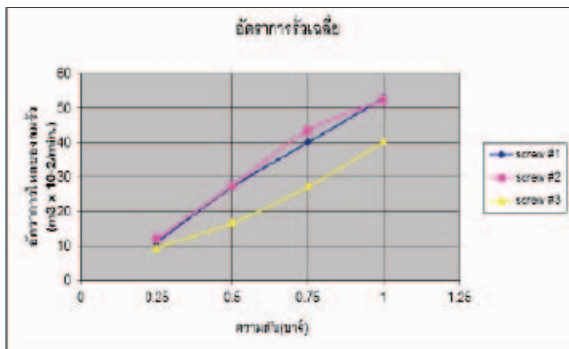
เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของสกรูทั้ง 3 ตัวจะแสดงค่าเฉลี่ยของการทำงานสกรูที่ความเร็วรอบต่าง ๆ กันดังรูปที่ 16-18



รูปที่ 16 ปริมาณการจ่ายวัสดุโดยเฉลี่ย



รูปที่ 17 กำลังที่ใช้การจ่ายวัสดุโดยเฉลี่ย



รูปที่ 18 ลมรั่วโดยเฉลี่ย ($\text{m}^3 \times 10^{-2} / \text{นาที}$)

จากรูปที่ 16-18 พบว่าการทำงานของสกรูที่มีความดันสูงจะทำให้

- การจ่ายวัสดุทำได้น้อยลง
- ต้องใช้กำลังขับเคลื่อนมากขึ้น
- ลมที่รั่วผ่านตัวสกรูมากขึ้น

เนื่องจากลมที่ความดันสูงจะต้านการจ่ายวัสดุไว้ทำให้

จ่ายวัสดุได้น้อยลง ใช้กำลังขับเคลื่อนเพลาสกรูมากขึ้น และมีลมรั่วเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

สกรูแบบที่ 3 เป็นสกรูที่สามารถจ่ายวัสดุได้มากที่สุด โดยที่เมื่อมีการใช้กำลังขับเคลื่อน และมีลมรั่วผ่านตัวสกรูน้อยที่สุด จึงสมควรที่จะนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากตำแหน่งที่จ่ายวัสดุเข้าระบบเพลลาของสกรูมีขนาดใหญ่ทำให้พื้นที่ที่ลมรั่วได้ลดลง แต่การสร้างตัวสกรูจะทำได้ยากกว่าเนื่องจากทั้งเพลลาและระยะพิทช์ของสกรูไม่คงที่

การจ่ายวัสดุในระบบที่มีความดันสูงจะทำให้สามารถขนถ่ายวัสดุได้ปริมาณที่มากขึ้น ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุไกลขึ้น และวัสดุสามารถไหลในท่อขนถ่ายวัสดุโดยมีลักษณะแบบหนาแน่น (Dense Phase) ซึ่งจะทำให้ลดการสึกหรอของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบได้อีกด้วยจึงควรมีการพัฒนาให้สามารถจ่ายวัสดุได้ที่มีความดันที่สูงขึ้น โดยการพัฒนาด้านลักษณะของใบสกรู และวาล์วกันกลับให้ดีขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mill, David., Jones, G. Mark, and Argawal J. Vijay., *Handbook of Pneumatic Conveying Engineering*, New York: Marcel Dekker, 2004.
- [2] Mill, David., *Pneumatic Conveying Design Guide*, Butterworths, London, 1990.
- [3] P. Van der kool, "Screw feeder design: proper feeding through proper pitch increase," *Powder handling and processing*, vol.12, no.2, pp. 179-181, April-June 2000.
- [4] A.W. Roberts, "Determining Screw Geometry for Specified Hopper Draw - Down Performance," Paper for presentation at Bulk 2000 Conference, Instn. Of Mech. Engrs., London Oct.1991.