

การหาประสิทธิภาพของหัวดูดวัสดุ Efficiency of Suction Nozzle

พรชัย จงจิตรไพศาล^{1*} และ สรรวย เกษตรสกุลชัย²
Pornchai Chongchitpaisan^{1*} and Sanruay Kasetsgulchai²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะทำงานเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้สำหรับดูดวัสดุ โดยใช้หัวดูดวัสดุแบบหัวดูดวัสดุ 2 ชั้น ซึ่งเป็นหัวดูดวัสดุที่ใช้กับวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงได้ดี ในขณะที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุ และอยู่ในสภาพพร้อมไหลได้เหมือนของไหล (Fluidized) ผลของการทดลองพบว่าในกรณีที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุ ระยะหัวดูดจะมีผลต่ออัตราการขนถ่าย และกำลังที่ใช้ขวนวัสดุมาก ในช่วงที่หัวดูดชั้นในและชั้นนอกอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ถ้าระยะหัวดูดชั้นในกับชั้นนอกมีระยะที่แตกต่างกันมากจะไม่ค่อยมีอิทธิพลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุเท่าไรนัก ในกรณีที่อยู่ในสภาพพร้อมไหลได้เหมือนของไหล (Fluidized) ระยะของหัวดูดมีอิทธิพลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุและกำลังที่ใช้ขวนวัสดุน้อยมาก เนื่องจากมีลมโดยรวมเข้าไปในท่อมากเกินไป ส่วนพลังงานที่ใช้ขวนถ่ายวัสดุต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุนั้น ถ้าท่อดูดด้านในอยู่ต่ำกว่าท่อดูดด้านนอก การขวนวัสดุในกรณีนี้ลมจ่ายเพื่อให้เกิดสภาพ Fluidized การใช้พลังงานต่อหน่วยของการขวนวัสดุจะมีแนวโน้มน้อยลง และในทางตรงกันข้ามถ้าท่อดูดด้านในอยู่สูงกว่าท่อดูดด้านนอกการใช้พลังงานต่อหน่วยของการขวนวัสดุจะมากกว่า ซึ่งหมายถึงการใช้ท่อดูดชั้นเดียวจะเหมาะสมกว่า สำหรับขณะที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุพลังงานต่อหน่วยของการขน

วัสดุเปลี่ยนแปลงน้อยมากในขณะที่ระยะหัวดูดเปลี่ยนไป

คำสำคัญ: หัวดูดวัสดุ ระบบขนถ่ายวัสดุแบบสุญญากาศ

Abstract

This paper presents a comparison of energy consumed by a double tube suction nozzle sucking a big pile of powder and fluidized material. The special property of this kind of nozzle is that it can suck powder material well. According to the experiment, the distance between the nozzle and the piling material much affected the handling rate and energy consumed when the inner and the outer tubes were placed at a closer distance. If the distance between the inner and outer tubes was much different, it hardly affected the handling rate. Regarding fluidized material, the distance between the nozzle and the fluid less affected the handling rate and energy consumption due to the excessive air in the tube. If the inner tube was placed lower than the outer, the energy consumption rate of the nozzle tended to be less and vice versa. This indicated that using single tube nozzle was more appropriate.

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Corresponding Author, Tel. 0-2587-4336, E-mail: pcp@kmutnb.ac.th

As for the material in a big pile, little change of energy consumption could be observed when the distance between the nozzle and the material varied.

Keyword: Suction Nozzle, Vacuum Conveying System

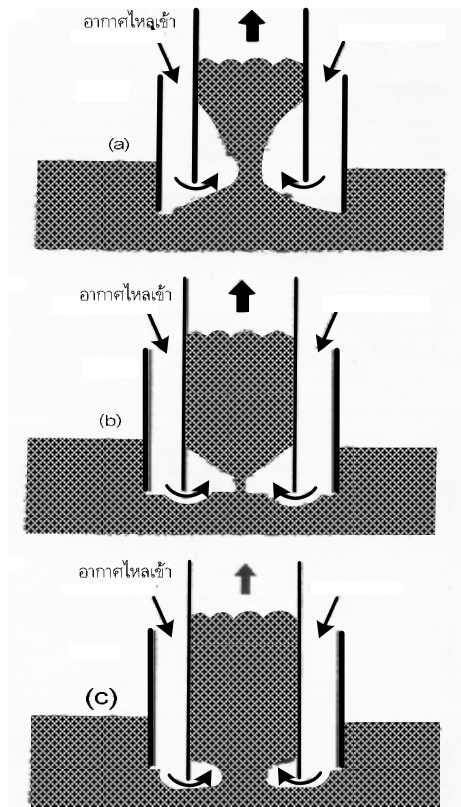
1. บทนำ

การขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล (Bulk Material) ซึ่งวัสดุจะอยู่ในรูปของวัสดุเม็ดหรือผงนั้น ในปัจจุบันมีการขนถ่ายวัสดุประเภทนี้โดยทางเรือเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการขนถ่ายด้วยวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถขนวัสดุได้ครั้งละมากๆ อีกด้วย แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธีนี้ก็คือการฟุ้งกระจายของวัสดุ ในขณะที่ขนวัสดุขึ้นจากเรือโดยใช้รถตักวัสดุ ดังนั้นการขนถ่ายวัสดุทางเรือที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมควรต้องใช้ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

หัวดูดวัสดุในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายวัสดุเข้าไปในท่อขนถ่ายวัสดุที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ และใช้กับระบบสูญญากาศในการขนถ่ายวัสดุ ซึ่งหัวดูดโดยทั่วไปจะแบ่งตามวัสดุที่จะขนเป็น 2 ชนิดคือ

สำหรับวัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ด และวัสดุที่มีลักษณะที่เป็นผง หัวดูดสำหรับวัสดุที่เป็นเม็ดจะมีลักษณะที่เป็นท่อเดี่ยว เนื่องจากในขณะที่ดูดวัสดุจากกองวัสดุ อากาศจะสามารถไหลผ่านวัสดุเข้าไปในท่อได้ แต่สำหรับวัสดุที่เป็นผงละเอียดอากาศจะไม่สามารถไหลเข้าไปในท่อขนถ่ายได้ จึงต้องทำให้หัวดูดมีลักษณะเป็นท่อ 2 ชั้น ดังรูปที่ 1 ซึ่งการปรับระดับของท่อจะเป็นการปรับปริมาณอากาศที่จะไหลเข้าไปในท่อได้

ซึ่งจากรูปถ้าวัสดุไหลเข้าท่อน้อยจะทำให้ความดันสูญเสียในระบบน้อย แต่ถ้าวัสดุไหลเข้าไปในท่อมากขึ้นก็จะทำให้ความดันสูญเสียในระบบมากขึ้นด้วย สำหรับการใช้งานจริงพบว่าวัสดุจะเกาะตัวกันแน่นทำให้การดูดวัสดุทำได้ยากขึ้นจึงมีการจ่ายลมบางส่วนเพื่อให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล (Fluidized) ทำให้ต้องมีการ



รูปที่ 1 การปรับระดับของหัวดูด (a) ท่อดูดด้านในอยู่สูงกว่าท่อดูดด้านนอก (วัสดุไหลเข้าน้อย) (b) ท่อดูดด้านในอยู่ระดับเดียวกับท่อด้านนอก (วัสดุไหลเข้ามาก) (c) ท่อดูดด้านในอยู่ต่ำกว่าท่อดูดด้านนอก (วัสดุไหลเข้ามากที่สุด)

จ่ายพลังงานเพิ่มขึ้น โดยที่เราไม่สามารถทราบได้ว่าการดูดวัสดุ ในลักษณะใดจะทำให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด และการใช้พลังงานในการดูดวัสดุในลักษณะใดจะประหยัดพลังงานมากที่สุด งานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงการทำงานที่ทำให้ขนถ่ายวัสดุได้เร็วที่สุด และจุดที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดด้วย

Levy [1] ได้ทำการทดลองถึงผลกระทบของการปรับระยะระหว่างท่อในและท่อนอกของหัวดูดในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม โดยการทดลองดูด Alumina ที่มีขนาดเฉลี่ย 60 ไมครอน พบว่าการให้ลักษณะท่อไปใน

ทิศทางบวก (+) ที่ท่อดูดด้านในอยู่ต่ำกว่าท่อดูดด้านนอก ดังรูปที่ 2 จะทำให้อัตราการขนถ่ายวัสดุ และความดันในระบบเพิ่มขึ้น และลักษณะท่อนในทิศทางลบ (-) ที่ท่อดูดด้านในอยู่สูงกว่าท่อดูดด้านนอก จะทำให้อัตราการขนถ่ายวัสดุ และความดันในระบบลดลง

Reed [2] ได้พิจารณาการออกแบบและประสิทธิภาพของหัวดูดวัสดุ ที่ใช้ดูดวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงทั้งชนิดที่ไหลได้ง่าย (Free Flowing Material) และวัสดุที่ไหลได้ยาก (Non-free Flowing Material) และได้อธิบายถึงหลักการในการควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าไปในท่อขนถ่ายวัสดุเพื่อควบคุมอัตราการขนถ่ายวัสดุของวัสดุที่ไหลง่าย และไหลได้ยาก โดยวัสดุที่ไหลได้ยากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุได้โดยการใช้กลไกเข้าไปกวนวัสดุ หรือการใช้ลมเพื่อทำให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล (Fluidized)

Latincics [3] ได้วิเคราะห์ และหาวิธีการในการคำนวณออกแบบระบบ การขนถ่ายวัสดุด้วยระบบสูญญากาศ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ทำให้การคำนวณถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

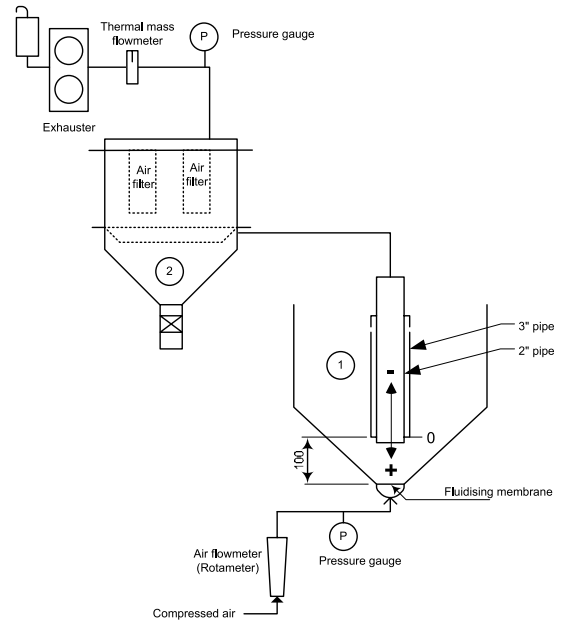
จากงานวิจัยข้างต้นจะพบว่ายังไม่มีการทดลองเปรียบเทียบการขนถ่ายวัสดุด้วยหัวดูด ระหว่างวัสดุที่อยู่ในสภาพเหมือนของไหลกับวัสดุที่อยู่ในสภาพกึ่งของไหลทั้งในเรื่องประสิทธิภาพ และพลังงานที่ใช้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- ภาชนะบรรจุวัสดุ (หมายเลข 1 ดังรูปที่ 2) ที่ประกอบด้วยวัสดุรุกรุน (Fluidizing Membrane) ที่ด้านล่าง พร้อมทั้งท่อดูดวัสดุและท่อสองชั้น
- ภาชนะรับวัสดุ (หมายเลข 2 ดังรูปที่ 2) ที่ประกอบด้วยตัวกรองวัสดุ/อากาศ (Air Filter)

ที่ภาชนะบรรจุวัสดุจะติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลมแบบ Rota Meter พร้อมทั้งอุปกรณ์วัดความดันไว้เพื่อวัดอัตราการไหล และความดันของลมที่ใช้สำหรับการทำให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล (Fluidisation)



รูปที่ 2 ระบบที่ใช้สำหรับการทดลอง

พร้อมทั้งหัวดูดวัสดุแบบท่อสองชั้นที่ทำจากท่อพีวีซี จากนั้นจะต่อท่อพลาสติกใสไปยังภาชนะรับวัสดุเพื่อให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของวัสดุในท่อได้ สำหรับภาชนะรับวัสดุ วัสดุจะไหลเข้าที่รับวัสดุที่มีลักษณะแบบ Cow Inlet เพื่อให้เกิดการหมุนวนของวัสดุและแยกวัสดุออกจากลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ด้านบนของภาชนะรับวัสดุจะติดตั้งตัวกรองวัสดุ/อากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุไหลออกไปจากภาชนะรับวัสดุได้ จากนั้นลมจะไหลผ่านอุปกรณ์วัดความดัน และอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลมแบบ (Thermal Mass Flow Meter) เพื่อวัดความดันและอัตราการไหลของลมที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ โดยใช้ปั๊มลมแบบ Side Channel Blower

การขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง และมีคุณสมบัติในการไหลได้เหมือนของไหลได้ดี ผ่านท่อสองชั้นโดยใช้ระบบสูญญากาศ นั้นหากเรามีการจ่ายลมเพียงเล็กน้อยเพื่อทำให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล แต่การใช้พลังงานในการขนถ่ายวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพนั้น เมื่อเปรียบเทียบการดูดวัสดุในสภาพที่วัสดุกองอยู่กับที่ แล้วจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างไร เป็นวัตถุประสงค์หลักของการทดลองนี้

ดังนั้นจึงต้องมีการวัดความดัน และอัตราการไหลของลมที่จ่ายให้กับวัสดุทั้งหมดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันต่อไป ซึ่งการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

2.1 ทำการปรับระยะหัวดูดตามที่ต้องการ (โดยมีการปรับให้มีระยะ -40, -30, -20, -10, 0, +10, +20, +30 mm. ตามลำดับ ดังรูปที่ 2)

2.2 เติมวัสดุให้เต็มภาชนะบรรจุวัสดุ (หากเป็นการทดลองให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล จะจ่ายลมเข้าไปได้ภาชนะบรรจุจนกระทั่งวัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล โดยจ่ายลมเข้าไปน้อยที่สุดแล้วยังเกิดฟองอากาศผุดขึ้นมาจากกองวัสดุ พร้อมบันทึก ความดันและอัตราการไหลของลมไว้)

2.3 เดินเครื่องปั๊มลมเพื่อดูดวัสดุ พร้อมทั้งจับเวลาในการดูดวัสดุโดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที

2.4 บันทึกค่าความดัน และอัตราการไหลของลมของปั๊มลม

2.5 ทำการชั่งน้ำหนักวัสดุที่ดูดได้

2.6 ทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ที่ระยะหัวดูดต่างๆ

2.7 ปรับวาล์วลดความดัน และอัตราไหลของลมรวม 3 ค่าแล้วทำซ้ำทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ความดันและอัตราการไหลที่แตกต่างกัน

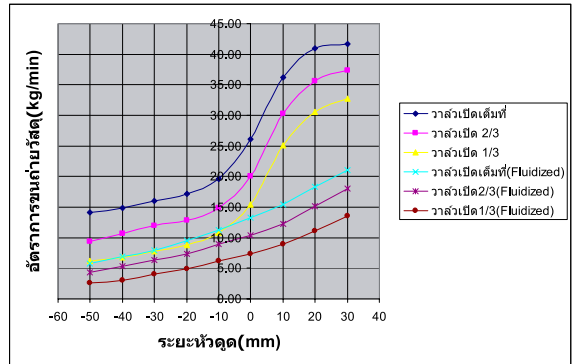
2.8 นำข้อมูลจากการทดลองไปวิเคราะห์

3. ผลการทดลอง

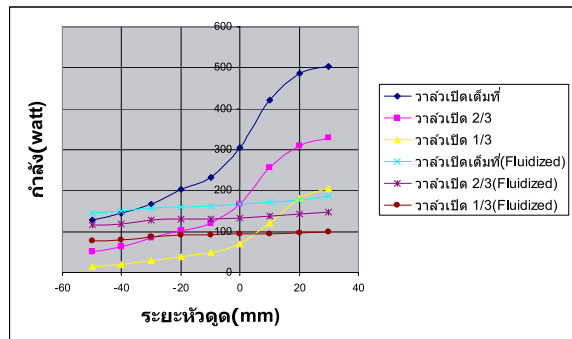
การทดลองจะทำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย โดยในกรณีที่มีการจ่ายลมเข้าไปเพื่อให้วัสดุอยู่ในสภาพเหมือนของไหล กำลังงานที่ใช้จะต้องรวมลมที่จ่ายในส่วนนี้ด้วย โดยลมที่จ่ายเข้าไปนี้มีความดัน 25 kPa และอัตราการไหลประมาณ $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$ ดังนั้นลมที่จ่ายเข้าไปจะมีกำลังเท่ากับ $25 \cdot 10^3 \cdot 1.2 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ watt}$ ซึ่งจะทำให้มีลมไหลผ่านวัสดุด้วยความเร็วประมาณ 15 m/sec

4. อภิปรายผลและสรุป

1. จากรูปที่ 3 และ 4 ในกรณีที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุ การปรับระยะหัวดูดในทิศทางบวกจะทำให้อัตรา



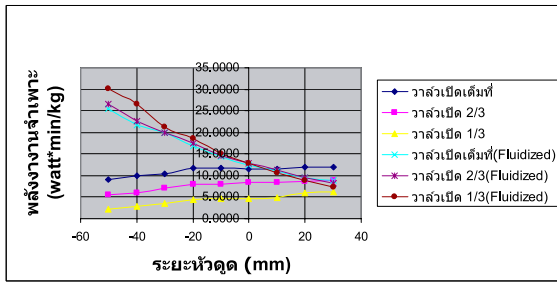
รูปที่ 3 กราฟผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายวัสดุกับระยะหัวดูด



รูปที่ 4 กราฟผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ขนถ่ายวัสดุกับระยะหัวดูด

การขนถ่ายวัสดุ และกำลังที่ใช้ขนถ่ายวัสดุเพิ่มมากขึ้น และการปรับระยะของหัวดูดในช่วง ระยะ -20 mm. ไปจนถึงระยะ 20 mm. จะมีผลกระทบต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุ และกำลังที่ใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุมากที่สุด หากเลยช่วงนี้ไปแล้วจะมีผลกระทบต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุ และกำลังที่ใช้ขนถ่ายวัสดุน้อยลง เนื่องจากในช่วงระยะดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงของลมที่จะไหลเข้าไปในท่อค่อนข้างมากกว่าช่วงอื่นๆ

2. จากรูปที่ 3 และ 4 ในกรณีที่วัสดุอยู่ในสภาพที่พร้อมจะไหลเหมือนของไหล ในทำนองเดียวกัน การปรับระยะหัวดูดในทิศทางบวกจะทำให้อัตราการขนถ่ายวัสดุ และกำลังที่ใช้ขนถ่ายวัสดุเพิ่มมากขึ้น และการปรับระยะของหัวดูดจะมีผลต่ออัตราการขนถ่าย



รูปที่ 5 พลังงานจำเพาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุกับระยะหัวดูด

วัสดุ และกำลังที่ใช้ขนถ่ายวัสดุน้อยกว่าในกรณีที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุ เนื่องจากมีลมที่จ่ายเข้าไปให้วัสดุอยู่ในสภาพที่พร้อมจะไหลเหมือนของไหล (Fluidize) ทำให้มีลมในระบบมากกว่าและไหลเข้าไปในท่อได้มากกว่านั่นเอง

3. จากรูปที่ 5 พลังงานจำเพาะ หรือพลังงานต่อหน่วยของการขนถ่ายวัสดุในกรณีที่วัสดุอยู่ในสภาพที่พร้อมจะไหลเหมือนของไหล (Fluidized) และตำแหน่งของหัวดูดวัสดุอยู่ในทิศทางบวกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากหัวดูดวัสดุอยู่ในทิศทางบวกจะทำให้ลมไหลเข้าไปในท่อได้น้อยลงจึงดูดวัสดุไปได้มากกว่า ในขณะที่วัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุมีผลตรงกันข้ามและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะน้อยกว่า ดังนั้นหากการขนถ่ายวัสดุโดยวัสดุอยู่ในสภาพที่พร้อมจะไหลเหมือนของไหล (Fluidized) นั้นควรใช้ท่อดูดในทิศทางบวก หรือใช้ท่อดูดแบบชั้นเดียวจะประหยัดพลังงานที่ใช้ขนวัสดุมากกว่า

สรุปโดยรวมแล้ว หัวดูดวัสดุเป็นอุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ ซึ่งการควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการขนถ่ายวัสดุมาก ถ้ามีลมไหลเข้าไปในท่อนขนถ่ายวัสดุมากเกินไป ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง แต่ถ้ามีลมไหลเข้าน้อยเกินไปก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันในท่อนขนถ่ายได้ การทำให้วัสดุอยู่ในสภาพพร้อมไหลได้เหมือนของไหลก็จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการขนวัสดุมากขึ้น แต่พลังงานที่ใช้อาจไม่ลดลงจากการมีวัสดุอยู่ในสภาพกองวัสดุ

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณลมที่ไหลเข้าไปในท่อนถ่ายวัสดุ นั่นเอง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเภททุนอุดหนุนประเภทวิจัยกลุ่มประจำปี 2550 และงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับความร่วมมือจากบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กลุ่มผู้ทำวิจัยขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยลุล่วงไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Levy, M.G. Jones, and S.Das, "An Investigation into the Performance of Suction Nozzle," *Powder Handling and Processing*, vol.8, no.4, pp.337, October / November, 1996.
- [2] A.R. Reed and A.N. Pittman, "Suction Nozzle Design," *Bulk Solid Handling*, vol.12, no.3, pp.409, 1992.
- [3] N.K. Latincsics, "Vacuum-Type Pneumatic Conveyor System," *Bulk Solid Handling*, vol. 6, no.2, pp.67, April 1986.
- [4] R.D., Marcus, L.S. Leung, and G.E. Klingzing, *Pneumatic Conveying of Solid*, 2nd; Chapman & Hall, 1990.
- [5] N.Milton Kraus, *Pneumatic Conveying of Bulk Materials*, the Ronald Press Company, 1968.
- [6] Jr. H.A. Stoes, *Pneumatic Conveying*, New York: John Wiley & Sons, 1970.
- [7] Mill, David, *Pneumatic Conveying Design Guide*, London: Butterworths, 1990.
- [8] P.A., Shamlou, *Handling of Bulk Solids*, London: Butterworths, 1990.