

การพัฒนาาระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาชนิดฝุ่น

DEVELOPMENT PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM
FOR FINE POWDER BIOMASS COMBUSTOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การพัฒนาระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาชนิดฝุ่น

DEVELOPMENT PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM
FOR FINE POWDER BIOMASS COMBUSTOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM
FOR FINE POWDER BIOMASS COMBUSTOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาชนิดฝุ่น
DEVELOPMENT PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM FOR FINE POWDER
BIOMASS COMBUSTOR

ผู้จัดทำ

1. นางสาว วันชัยพร คงนคร รหัสประจำตัว 54011112
2. นาย วิศรุต เฟื่องบุญมา รหัสประจำตัว 54011211
3. นาย ศรัณยู คงสวัสดิ์วรกุล รหัสประจำตัว 54011243



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับหัวเผาชนิดฝุ่น

นางสาว วณิชพร คงนคร	54011112
นาย วิศรุต เพ็งบุญมา	54011211
นาย ศรัณยู คงสวัสดิ์วรกุล	54011243
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2557	

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนา ระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาชนิดฝุ่น ซึ่งระบบเดิมได้มีการออกแบบไซโคลน และ Hopper ให้มีความเหมาะสม กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงฝุ่น ในช่วง $0.942-3.780 \text{ kg/min}$ อย่างน้อยเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งอัตราการป้อนเชื้อเพลิงคำนวณได้จากการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ย่าน $0.25-1\text{MW}$ ดังนั้นในการออกแบบและพัฒนาระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงครั้งนี้ ได้ปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความปลอดภัย โดยต้องคำนึงถึงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับหัวเผา และการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งรวมถึงการเชื่อมโยงระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่หัวเผา จากผลการทดสอบระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา พบว่า ในการลำเลียงเชื้อเพลิงเม็ดผ่านสกรูลำเลียงเข้าสู่เครื่องบด ซึ่งต้องบดให้มีขนาด 0.5 mm เพื่อการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ โดยอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงเม็ดเป็นไปตามความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น โดย x คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์ของสกรูลำเลียง ซึ่งเมื่อทำการขนถ่ายเชื้อเพลิงไปยังเครื่องบดอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้เกิดการอัดแน่นของเชื้อเพลิงในเครื่องบด เพราะการบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กมาก ต้องใช้เวลานาน ซึ่งเกินขีดความสามารถของเครื่องบด ทำให้การบดเกิดความไม่ต่อเนื่อง จึงได้ทำการแก้ไขปัญหานี้โดยการบดเชื้อเพลิงให้ได้ขนาดตามต้องการเก็บไว้แทน โดยอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงฝุ่นเป็นไปตามความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น โดย x คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ของสกรูลำเลียง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้สกรูลำเลียงในช่วง $1.226-4.746 \text{ Hz}$ เพื่อให้ได้อัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงที่ต้องการ ซึ่งต้องนำไปรวมกับระบบป้อนอากาศ 1 เพื่อขนถ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา โดยอากาศส่วนนี้จะคิดเป็น 10% ของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งหมด ระบบป้อนอากาศจะควบคุมด้วยเปอร์เซ็นต์การเปิด-ปิดวาล์วให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศที่ต้องการ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงที่ดีจะส่งผลให้ระบบการเผาไหม้นั้นมีประสิทธิภาพที่ดี

DEVELOPMENT PULVERIZED FUEL FEEDING SYSTEM
FOR FINE POWDER BIOMASS COMBUSTOR

Wanatchaporn Kongnakorn 54011112
Vitsarut Pengboonma 54011211
Sarunyu Kongsawatvorakul 54011243
Assc.Prof.Dr.Jaruwat Charoensuk Advisor
Year 2557

ABSTRACT

The project aims to design and develop a pulverized fuel feeding system for the biomass burner. The original system provided the cyclone and hopper for the capacity of 0.942-3.780 kg/min for at least 30 minutes. The feeding rate was designed for fuel consumption of 0.25-1 MW. The new system has accommodated fuel in pellet form due to environment and safety reason. Thus, in this design and development, we have to consider about fuel feeding rate to furnace, selecting the appropriate technology. This includes connection of the fuel storage, screw conveyor and grinding machine. As a result of fuel feeding system, it was found that to get an effective combustion, it is needed to grind the pellet fuel into 0.5mm size and needed to be in line with the relationship of linear equation $\dot{m} = 1.255x + 0.020$, where x is the frequency of supply voltage. Since grinding pellet fuel into very small size takes a while, congestion of fuel in the grinding machine is occurred by running the system continuously. In the process of solving this problem, grinding pellet fuel into 0.5mm size first and accommodated it for feeding into burner in next step. It was found that the suitable pulverized fuel feeding rate for combustion needed to be in line with the relationship of linear equation $\dot{m} = 0.8061x - 0.0461$, where x is the frequency of supply voltage, which is at 1.226 - 4.746 Hz. Fuel feeding cooperated with primary air intake is controlled by throttle valve. The primary air is calculated to be 10% of overall air needed for combustion. This shows that effective feeding system has an effect on combustion efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข เป็นอย่างมาก สำหรับความเอาใจใส่ คำแนะนำ ความช่วยเหลือตลอดจนคำปรึกษาในด้านต่างๆ เสมอมา อีกทั้งขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ และขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกๆท่านที่ช่วยอบรมสั่งสอนถ่ายทอดวิชาความรู้ ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ นายชินภัทร ชูระการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความรู้ ในเรื่องการทำนิตยสารการทดลอง ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนายธวัชชัย จำนงค์, นายพีรพัฒน์ เทพลิป, นายนันทพล จันคง, นายบุลวัชร เจริญยืนนาน, นายปฐวี เลี้ยงบำรุง, นายวิทวัส วัฒนธัญญกรรม, นายวีรยุทธ วงศ์ภัทรวรกุล, ชมรมยานยนต์ และห้องพัสดุภาควิศวกรรมเครื่องกลที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสผู้ทำปริญญานิพนธ์เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท และขอขอบคุณคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้ และอบรมสั่งสอนอย่างสุดความสามารถ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวนัชพร คงนคร
นายวิศรุต เฟ็งบุญมา
นายศรัณยู คงสวัสดิ์วรกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 เหตุผลและความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2.1 พลังงานชีวมวล.....	4
2.2.2 ฮอปเปอร์.....	7
2.2.3 สกรูขนถ่ายวัสดุ.....	11
2.2.4 กระบวนการบดย่อยวัสดุ (Size reduction).....	27
2.2.5 อุปกรณ์สันสะเทือนระบบลม.....	32
2.2.6 Sieve analysis.....	36
2.2.7 การขนถ่ายด้วยลม.....	39
2.2.8 ออร์ฟิส(Orifice Flow Meter).....	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การปรับปรุงระบบป้อนและบดเชื้อเพลิง.....	50
3.1 การเลือกใช้เชื้อเพลิง.....	50
3.2 ระบบบดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	51
3.3 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา.....	53
3.4 ระบบกักเก็บเชื้อเพลิง.....	55
3.4.1 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุที่น่าสนใจ.....	56
3.4.2 ประเภทของอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมที่สนใจ.....	58
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	61
4.1 วัตถุประสงค์.....	61
4.2 แนวทางการทดลอง.....	61
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	61
4.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	62
4.4.1 การทดลองหาความสามารถของเครื่องบด.....	62
4.4.2 การทดลองหาขนาดของเชื้อเพลิง.....	62
4.4.3 การทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง.....	62
4.4.4 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดผ่านสกรูลำเลียง.....	62
4.4.5 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่นผ่านสกรูลำเลียง.....	63
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	64
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบบดเชื้อเพลิง.....	64
5.1.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องบด.....	64
5.1.2 ผลการทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด.....	65
5.1.3 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องบด.....	65
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบป้อนเชื้อเพลิง.....	66
5.2.1 ผลการทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านสกรูลำเลียง.....	67
5.2.3 วิเคราะห์การทำงานของสกรูลำเลียง.....	71
5.3 วิเคราะห์ระบบอากาศส่วนที่1 ร่วมกับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	73
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	73
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	82
ภาคผนวก ค.....	89



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตามหลักมาตรฐานสากล.....	6
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตามหลักมาตรฐานสากล.....	7
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติวัสดุ.....	14
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าแฟกเตอร์ระยะพิตซีไบสกรู.....	17
ตารางที่ 2.5 แสดงแฟกเตอร์ชนิดไบสกรู Ff.....	20
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าแฟกเตอร์บีพัด Fp.....	22
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าแฟกเตอร์วัสดุ (Fm).....	22
ตารางที่ 2.8 แสดงค่าประมาณของแฟกเตอร์ของวัสดุ.....	23
ตารางที่ 2.9 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาด(size reduction equipment).....	29
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากยางพาราของบริษัท K.M.INTERWOOD.....	50
ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องบด.....	51
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY.....	52
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบกำลังการผลิตจริงกับข้อมูลจากผู้ผลิต.....	64
ตารางที่ 5.2 ค่าแฟกเตอร์ความเต็มร่างที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลเม็ดและเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น.....	69
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	70
ตารางที่ 5.4 ปริมาณที่อากาศส่วนที่1และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้.....	71
ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด.....	78
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง.....	78
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดผ่านสกรูลำเลียง.....	89
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นผ่านสกรูลำเลียง.....	89
ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายกลับผ่านสกรูลำเลียง.....	80
ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองหาอัตราการไหลของอากาศส่วนที่1.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
รูปที่ 2.1 แสดงชีวมวลในประเทศไทย.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการไหลในฮอปเปอร์.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงการออกแบบทั่วไปสำหรับฮอปเปอร์.....	8
รูปที่ 2.4 แสดงการออกแบบทั่วไปสำหรับช่องทางไหลฮอปเปอร์.....	9
รูปที่ 2.5 แสดงปัญหาที่พบบ่อยในถัง / ออกแบบถังฮอปเปอร์.....	10
รูปที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันการไหลของวัสดุ.....	11
รูปที่ 2.7 แสดงสกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกูล.....	12
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว.....	13
รูปที่ 2.9 แสดงขนาดก้นวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม.....	15
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย.....	16
รูปที่ 2.11 แสดงหน้าตัดของรางสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน.....	16
รูปที่ 2.12 แสดงหลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ.....	18
รูปที่ 2.13 แสดงแฟกเตอร์ความเต็มราง (k).....	19
รูปที่ 2.14 แสดงความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ.....	20
รูปที่ 2.15 แสดงแฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู.....	21
รูปที่ 2.16 แสดงแฟกเตอร์จำนวนใบพัด.....	21
รูปที่ 2.17 แสดงอัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง.....	26
รูปที่ 2.18 แสดงสกรูขนถ่ายวัสดุที่มีระยะทางขนถ่ายวัสดุ 9.13 เมตรและมุมเอียง 20 องศา.....	26
รูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพเครื่องลดขนาดต่างๆ.....	28
รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างเครื่องบด.....	32
รูปที่ 2.21 แสดง PNEUMATIC BALL VIBRATOR.....	33
รูปที่ 2.22 แสดง PNEUMATIC ROLLER VIBRATOR	33
รูปที่ 2.23 แสดง PNEUMATIC TURBINE VIBRATOR.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.24 แสดง PNEUMATIC PISTON VIBRATOR.....	34
รูปที่ 2.25 แสดง PNEUMATIC PISTON VIBRATOR รุ่น HEAVY DUTY.....	34
รูปที่ 2.26 แสดง PNEUMATIC KNOCKER VIBRATOR.....	34
รูปที่ 2.27 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม.....	35
รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม.....	36
รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างการใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม แบบ AIR KNOCKER.....	36
รูปที่ 2.30 แสดงช่องของตะแกรง.....	37
รูปที่ 2.31 แสดงแผนภาพกระบวนการ Sieve analysis.....	38
รูปที่ 2.32 แสดงขั้นตอนการทดสอบด้วยกระบวนการ Sieve analysis.....	38
รูปที่ 2.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการขนถ่ายวัสดุด้วยลม กับการขนถ่ายวัสดุด้วย เครื่องจักรกลขนถ่าย.....	39
รูปที่ 2.34 แสดงรูปแบบการไหลในท่อแบบแนวนอน.....	41
รูปที่ 2.35 แสดงระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม.....	41
รูปที่ 2.36 แสดงอิทธิพลของความเร็วที่มีผลต่อส่วนบ่อนกันการกัดกร่อนของท่อโค้ง.....	43
รูปที่ 2.37 แสดงระบบ Blow Tank ที่มีท่อไหลแบบ Plug เดียว.....	44
รูปที่ 2.38 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลและความหนาแน่นและความดันลด ในเส้นทางการขนถ่าย.....	45
รูปที่ 2.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศต่ำสุดกับความหนาแน่น.....	46
รูปที่ 2.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลม, ความหนาแน่นและระยะการขนถ่าย.....	47
รูปที่ 2.41 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	48
รูปที่ 2.42 แสดงแผ่นออริฟิส.....	49
รูปที่ 2.43 แสดงแผ่นออริฟิสมาตรฐาน.....	49
รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	50
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY รุ่น YPT-302(F/S).....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะภายในเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY รุ่น YPT-302(F/S).....	52
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะเชื้อเพลิงก่อนกระบวนการบด.....	53
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการบด.....	53
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการอุดตันเชื้อเพลิงบริเวณปล่องสำหรับการขนถ่ายเชื้อเพลิงเดิม.....	54
รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานของ Conveying Eductor.....	54
รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองปล่องสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงของระบบ.....	54
รูปที่ 3.9 แสดงชิ้นงานจริงของปล่องสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงของระบบ.....	55
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ.....	55
รูปที่ 3.11 แสดงการเกิดขั้มโค้งและเชื่อมแน่นเป็นทรงกระบอก.....	55
รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยไหลแบบทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล(fluidize).....	56
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของอุปกรณ์แบบใช้ลมผลึกวัสดุ.....	56
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดแบบขั้มโค้งและแบบเชื่อมแน่น เป็นท่อบรูปทรงกระบอกตามลำดับ.....	57
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การสั่นสะเทือน.....	57
รูปที่ 3.16 แสดงอุปกรณ์ทางกลสำหรับจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ.....	58
รูปที่ 3.17 แสดง Ball Vibrator.....	58
รูปที่ 3.18 แสดง Roller Vibrator.....	59
รูปที่ 3.19 แสดง Turbine Vibrator.....	59
รูปที่ 3.20 แสดง Piston Vibrator.....	59
รูปที่ 3.21 แสดง Impact Hammer.....	60
รูปที่ 3.22 แสดงอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมที่เลือกใช้.....	60
รูปที่ 3.23 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลม.....	60
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	61
รูปที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดของเชื้อเพลิงด้วยวิธีร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา X ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.2 แสดงการทำงานของสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ จากการใช้ inverter ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ 1- 50 Hz โดยไม่มีการใส่เชื้อเพลิงในระบบ.....	66
รูปที่ 5.3 แสดงอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดในระยะเวลา 1 นาที โดยปรับกระแสไฟฟ้า ในช่วงความถี่ 1-5 Hz	67
รูปที่ 5.4 แสดงอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงฝุ่นในระยะเวลา 1 นาที โดยปรับกระแสไฟฟ้า ในช่วงความถี่ 1-5 Hz.....	67
รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขนถ่ายระหว่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและ เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น.....	68
รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขนถ่ายของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ใช้งาน ผ่านสกรูลำเลียงเดียวกัน.....	70
รูปที่ 5.7 แสดงปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการเผาไหม้.....	72
รูปที่ ข.1 ชุดการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล.....	83
รูปที่ ข.2 ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล.....	83
รูปที่ ข.3 ระบบกักเก็บและบดเชื้อเพลิง.....	84
รูปที่ ข.4 เครื่องอัดอากาศให้กับระบบ.....	84
รูปที่ ข.5 วาล์วปรับอัตราการไหลอากาศส่วนที่1.....	85
รูปที่ ข.6 inverter ปรับค่าความถี่กระแสไฟฟ้าของระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล.....	85
รูปที่ ข.7 ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน.....	86
รูปที่ ข.8 ติดตั้งแม่เหล็กแรงสูง เพื่อกรองละอองเหล็กที่ผสมอยู่ในเชื้อเพลิง.....	86
รูปที่ ข.9 การไหลของเชื้อเพลิงหลังติดไวนอเตอร์.....	87
รูปที่ ข.10 สกรูลำเลียงเชื้อเพลิง.....	87
รูปที่ ข.11 อุปกรณ์สำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่หัวเผา.....	88
รูปที่ ข.12 เครื่องอัดอากาศสำหรับไวนอเตอร์.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เหตุผลและความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตพลังงานส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้มีปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่อุตสาหกรรมต่างๆ มีปริมาณมากขึ้นและปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคตนั้นคือ การขาดแหล่งพลังงาน เพราะเชื้อเพลิงฟอสซิลได้มาจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์เป็นเวลายาวนาน การแก้ปัญหาที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือ การใช้พลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยชีวมวล (biomass) คือ เชื้อเพลิงเหลือใช้จากการเกษตร หรือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว หญ้า ไม้ เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลคือ การลดปัญหามลพิษ เนื่องจากมีกำมะถันน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลได้รับความสนใจ เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้คือ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellets) ซึ่งทำมาจากเศษไม้พวกขี้เลื่อยหรือเศษวัสดุจากไม้แปรรูป ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดคือ ง่ายต่อการขนถ่ายในกระบวนการ และการให้ความร้อนสูงเนื่องจากมีค่าความชื้นต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น และการเผาไหม้จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้นั้น จะต้องมีการควบคุมระบบการป้อนและบดเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

จากเดิมระบบป้อนเชื้อเพลิง จะประกอบด้วยไซโคลน ฮอปเปอร์ สกรูลำเลียง และ ระบบลมอัด โดยในการศึกษาและพัฒนาครั้งนี้ คือ การทำให้ระบบมีการกักเก็บและป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาได้อย่างต่อเนื่อง และได้เปลี่ยนรูปแบบในการจัดเก็บเชื้อเพลิง จากเดิมที่จัดเก็บในรูปแบบของเชื้อเพลิงฝุ่นเปลี่ยนเป็นการจัดเก็บในรูปแบบเม็ด (Pellet) เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากสภาพแวดล้อมเป็นผลให้เชื้อเพลิงมีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป จากการเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บเชื้อเพลิง จึงต้องมีการเพิ่มกระบวนการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ด เป็นต้น ซึ่งเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบป้อนเชื้อเพลิงให้แก่เตาเผาที่เป็นโครงการทางวิศวกรรมในปีการศึกษาก่อนหน้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาและพัฒนาระบบป้อน และบดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับระบบเผาไหม้

1.2.2 ทดสอบการทำงาน เพื่อหาตัวแปรควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงชนิดฝุ่นเข้าสู่เตาเผาไหม้ชีวมวล ในอัตราการไหลเชิงมวลอยู่ที่ประมาณ 0.942-3.780 kg/min
- 1.3.2 ป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นเข้าสู่เตาเผาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที
- 1.3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้คือ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

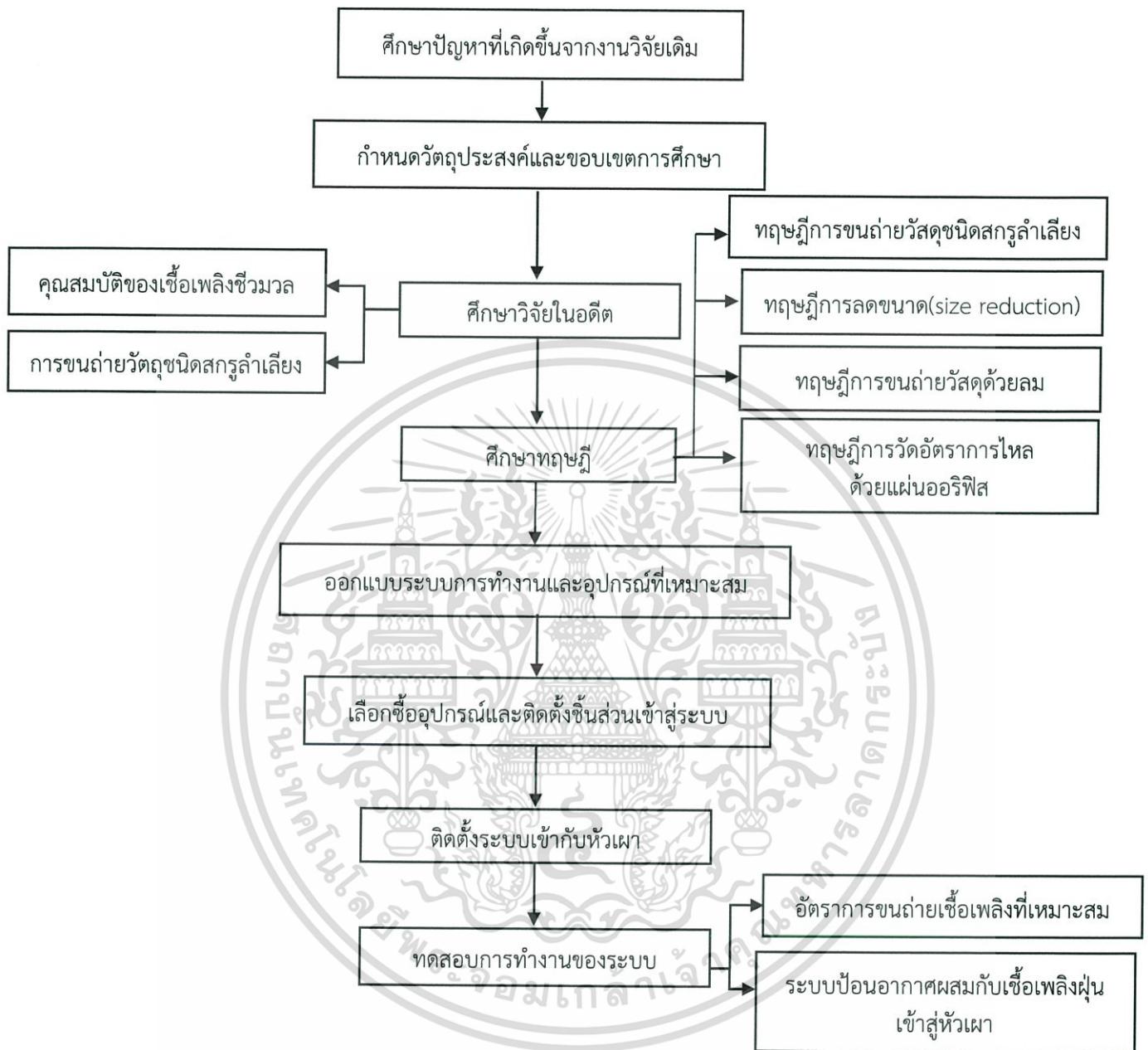
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรและจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้
- 1.4.2 ได้ต้นแบบระบบกักเก็บและป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริง
- 1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยการบดให้เป็นผงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Joppich, H. Salman [1] ได้ศึกษาการป้อนผงซีลี้อย พบว่า ขนาดและความชื้นของผงซีลี้อย เป็นตัวแปรที่ทำให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงไม่คงที่ จึงได้ทำการติดตั้ง Vibrator conveyer เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

Jianjun Dai, John R. Grace [2,3,4] ได้ศึกษารูปร่างของสกรูลำเลียง ผลที่ได้คือ เมื่อปรับความเร็วและความยาวของสกรูลำเลียงให้เพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนจาก Plug seal เป็น Reactor เพื่อให้ได้แรงบิดที่ต้องการ ซึ่งประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลและคุณสมบัติของสกรูลำเลียง

ต่อมาจึงได้มีการสร้างต้นแบบของสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อวิเคราะห์หาข้อจำกัดของการป้อนด้วยสกรู ในรูปแบบของการอุดตันภายในและการหาแรงบิดที่ต้องการ โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทฤษฎีกับผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอุณหภูมิและความร้อนไม่มีผลต่อการทดลองนี้

งานวิจัยต่อมาเป็นการทดสอบการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลต่างชนิดกัน เพื่อหาปัญหาในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด โดยกำหนดแรงบิดที่ต้องการ จากการทดลองพบว่า ความชื้นของชีวมวลมากจะมีผลต่อการใช้แรงบิดมาก โดยวัสดุที่อัดตัวได้สามารถป้อนได้เร็วกว่าวัสดุที่อัดตัวไม่ได้และความดันภายใน Hopper มีผลต่อการลดแรงบิดและเพิ่มอัตราการไหลของวัสดุ

เวียง อากรซี, วิบูลย์ เทเพนทร์ และ ชัยวัฒน์ เผ่าสันตตพณิชย์ [5] ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียนให้มีความละเอียดตามความต้องการของผู้ใช้ โดยเครื่องบดแห้งทุเรียนประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดบดหยาบ (ออกแบบเป็น Hammer mill) และส่งเข้าอุปกรณ์การป้อนแบบสกรูลำเลียงไปยัง ชุดบดละเอียด (ออกแบบเป็น Pin miller) มาหาค่าอัตราการลำเลียง, อัตราการบด และคำนวณหาค่าใช้จ่าย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการเกษตร

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พลังงานชีวมวล[6]

ชีวมวล หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลายปาล์ม เศษไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน ในที่นี้จะ

กล่าวเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเท่านั้น กากใยปาล์ม ไม้พิน ชังข้าวโพด เหง้ามันสาปะหลัง
กะลามะพร้าว แกลบ



กากใยปาล์ม



ไม้พิน



ชังข้าวโพด



เหง้ามันสาปะหลัง



กะลามะพร้าว



แกลบ

รูปที่ 2.1 แสดงชีวมวลในประเทศไทย

ศักยภาพชีวมวล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิต และการใช้ชีวมวล พบว่า ชีวมวลบางประเภทที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง และมีปริมาณคงเหลือไม่มาก หรือบางชนิดขาดแคลน อาทิเช่น แกลบ กากอ้อย ชังชีวมวล เหล่านี้เป็นประเภทที่เกิดขึ้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ผู้ประกอบการได้หาแนวทางในการใช้กำจัดและลดต้นทุนในการผลิตของตน ด้วยการใช้แทนเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ จนปัจจุบันเชื้อเพลิงเหล่านี้มีการซื้อขาย และมีกลไกด้านการตลาดจนครบวงจรแล้วหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นชีวมวลประเภทที่เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์ ส่วนชีวมวลอีกหลายประเภทพบว่ามีปริมาณคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีการใช้ภายในวงจำกัด หรือบางประเภทยังไม่ได้มีการนำไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม อาทิเช่น ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว เหง้ามันสาปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า ทางใบและก้านปาล์ม เป็นต้น

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การเผาไหม้ตรง (Direct Combustion) การผลิตก๊าซชีวมวล (Gasification) และเทคโนโลยีที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ได้แก่ การผลิตน้ำมันจากชีวมวล (Bio-Oil) การผลิตพลังงานจากชีวมวลด้วยระบบ Integrated Gasification Combine Cycle (BIGCC) และการสกัดไฮโดรเจนจากชีวมวล

การเผาไหม้ตรง (Direct Combustion)

การเผาไหม้ตรงเป็นปฏิกิริยาเคมีการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการลุกไหม้และการคายความร้อนออกมา โดยใช้ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 23 และก๊าซเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่กำลังออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาที่พื้นผิว และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบการเผาไหม้แบ่งได้ดังนี้ 1. ระบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง ระบบนี้อาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟ ที่ทาจากเหล็กหล่อเป็นตอน ๆ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะแกรงเตาไฟ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ 2. ระบบสโตกเกอร์ (Stoker) เป็นระบบแรกที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกลแทนแรงงานคน ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด แต่ระบบสโตกเกอร์มีขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำร้อนในระดับต่ำ ระบบสโตกเกอร์สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker) และระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellets) [7]

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellets) เป็นเชื้อเพลิงที่ทำมาจากขี้เลื่อย หรือ เศษวัสดุจากการแปรรูปไม้ มีความหนาแน่นสูง และมีความชื้นต่ำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็ก ทำให้การป้อนเชื้อเพลิงในระบบมีประสิทธิภาพ กล่าวคือสามารถกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้อง และรูปทรงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดยังช่วยให้สะดวกต่อการขนถ่ายและจัดเก็บ

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตามหลักมาตรฐานสากล [7]

Specification	Unit	Product output quality	Sampling test by Thailand Department of Science Service
Diameter size	mm	5.84-7.25	In criteria
Length	mm	10-30	In criteria
Fine material	%	≤2	In criteria
Bulk density	kg/m ³	650-750	In criteria
Moisture	%	≤10	7.6
Ash	%	≤3	2.1
Net calorific value	kcal/kg (MJ/kg)	≤4040 (16.9)	4105 (17.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตามหลักมาตรฐานสากล [7]

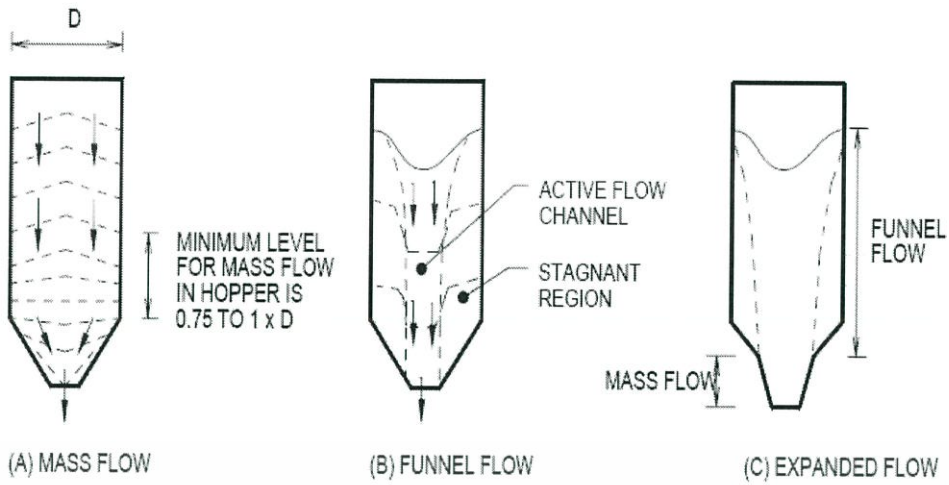
Chemical composition	Unit	Sampling test by Thailand Department of Science Service
Carbon	%	47.6
Nitrogen	%	0.41
Sulfur	%	0.05
Hydrogen	%	6.7
Oxygen	%	43.1

2.2.2 ฮอปเปอร์[8]

ฮอปเปอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสำหรับการป้องกันและการเก็บรักษาวัสดุ ฮอปเปอร์ต้องมีการออกแบบเช่นที่พวกเขาจะจ่ายต่อการไหล ที่สำคัญควรจะต้องได้รับการออกแบบเช่นที่พวกเขาจะจ่ายต่อการขนถ่ายเชื้อเพลิง ฮอปเปอร์ที่ถูกออกแบบมาส่งผลกระทบต่ออัตราการไหล ของเชื้อเพลิง ผงออกจากถังน้ำมันไหลเลย นอกจากนี้วิธีที่ถูกออกแบบมาส่งผลกระทบต่อมากของวัสดุที่เก็บไว้สามารถปล่อยและไม่ว่าจะมีการผสมขนาดของแข็งหรือพื้นที่ที่ช่วยลดความสามารถในการมีประสิทธิภาพของถังฮอปเปอร์ ปัญหาเหล่านี้และอื่น ๆ ที่กล่าวถึงที่นี่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาเมื่อมีการออกแบบการจัดเก็บ

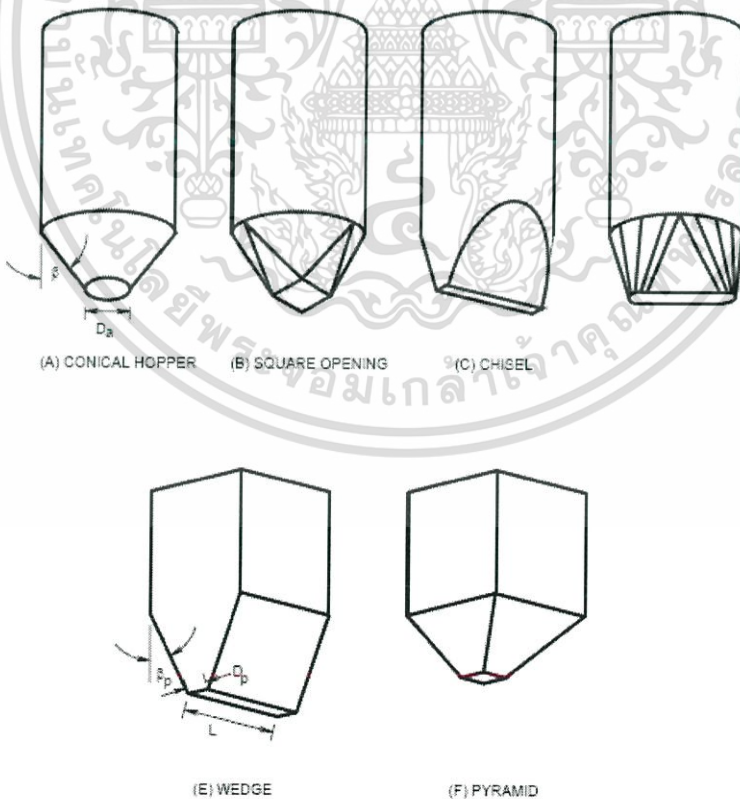
โหมดการไหล

มีสองประเภทหลักและที่แตกต่างกันของการไหลของของแข็งในกรวยฮอปเปอร์, การไหลเชิงมวลและการไหลของช่องทางที่มี นอกจากนี้ยังมีกรณีพิเศษที่มีการรวมกันของทั้งสองกระแสที่เรียกว่าไหลแบบขยาย จากวิธีการที่ของแข็งย้ายไปในกรวยฮอปเปอร์ลักษณะและความแตกต่างระหว่างกระแสที่ปรากฏในรูปที่ 10-1 ความแตกต่างระหว่างมวลและการไหลของช่องทางที่อยู่ในการไหลของมวลทั้งหมดของวัสดุในถังอยู่ในการเคลื่อนไหว แต่ไม่จำเป็นต้องทั้งหมดที่มีความเร็วเดียวกัน ในช่องทางไหลหลักของวัสดุในศูนย์ดังกล่าวข้างต้นต่ำเสียบกระโดดอยู่ในการเคลื่อนไหวในขณะที่วัสดุที่ติดกับผนังนั้น



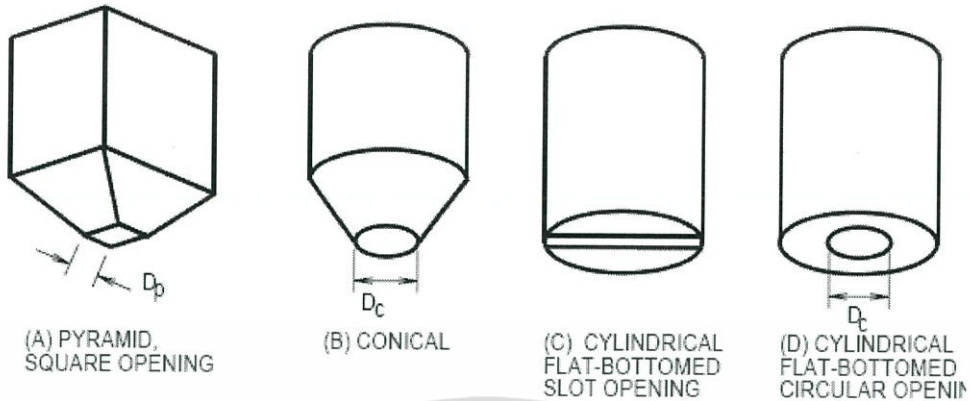
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการไหลในฮอปเปอร์ โดยในการไหลเชิงมวล (A) ย้ายวัสดุทั้งหมดในถังรวมทั้งใกล้เคียง ช่องทางในการไหล (B) ย้ายวัสดุแกนกลางด้วยวัสดุใกล้เคียง การไหลเวียนของการขยายตัว (C) คือการรวมกันของการไหลเชิงมวลในการออกจากถังและการไหลของช่องทางดังกล่าวข้างต้นในถัง [8]

ฮอปเปอร์มีความหลากหลายของรูปร่างและการออกแบบที่ไม่เพียงแค่ออกแบบรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นบางส่วนของการออกแบบที่มากขึ้นพบกรวยไหล นอกจากนี้ยังมีความหลากหลายของการออกแบบที่มีความเป็นไปได้สำหรับการไหลกรวยช่องทางแสดงในรูปที่ 10-3



รูปที่ 2.3 แสดงการออกแบบทั่วไปสำหรับฮอปเปอร์[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

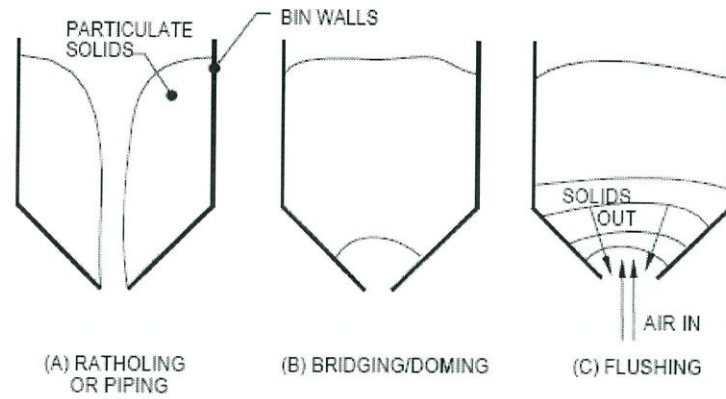


รูปที่ 2.4 แสดงการออกแบบทั่วไปสำหรับช่องทางไหลฮอปเปอร์[8]

ปัญหาการออกแบบที่ฮอปเปอร์

ปัญหาการออกแบบฮอปเปอร์เป็นปกติหนึ่งในสองประเภทคือ ทั้งวัสดุที่ไม่ปล่อยอย่างเพียงพอจากการเปิดในถังหรือวัสดุแบ่งแยกกันระหว่างการไหล ปัญหาที่เราต้องการที่จะแก้ปัญหาหรือหลีกเลี่ยง

- RATHOLING / ท่อ Ratholing หรือท่อเกิดขึ้นเมื่อหลักของการปล่อยถัง (ในขณะที่ช่องทางไหล) แต่ฝั่งหนึ่งมีความเสถียรพอที่จะยังคงอยู่ในสถานที่โดยไม่ต้องไหลออกจากหลุม ลงผ่านทางศูนย์ของช่องแข็งที่เก็บไว้ในถัง (ดูรูปที่ 2.5a)
- BRIDGING เกิดจากการไหลช้าเกินไป วัสดุที่ไม่ได้ออกจากถังอย่างรวดเร็วพอที่จะเสียดตามกระบวนการไม่ไหลเนื่องจากโค้งหรือ doming วัสดุที่มีความเหนียวพอที่จะทำให้อนุภาคในรูปแบบสะพานโค้งหรือโดมที่เก็บวัสดุในสถานที่และหยุดการไหลสมบูรณ์ (รูปที่ 2.5b)
- FLUSHING ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่ไม่เหนียวพอที่จะก่อให้เกิดโดมมั่นคง แต่แข็งแรงพอที่จะทำให้อัตราการไหลของวัสดุช้าลงในขณะที่อากาศพยายามที่จะ เจาะเข้าไปในวัสดุบรรจุเพื่อคลายขึ้น บางส่วนของวัสดุ ผลที่เกิดขึ้นคือการไหลช้าลงของช่องแข็งเป็นอากาศแทรกซึมในระยะทางสั้น ๆ พื้นชั้นของวัสดุและกระบวนการเริ่มต้นไปด้วยอากาศที่เจาะเข้าไปในพื้นที่ สัมผัสของวัสดุที่สดใหม่ (รูปที่ 2.5c) ตะกอนไม่สมบูรณ์ ช่องว่างที่ในถังสามารถป้องกันไม่ให้ถึงจากการปล่อยสมบูรณ์ของวัสดุ



รูปที่ 2.5 แสดงปัญหาที่พบบ่อยในถัง / ออกแบบถังฮอปเปอร์[8]

การทดสอบที่ต้องการ

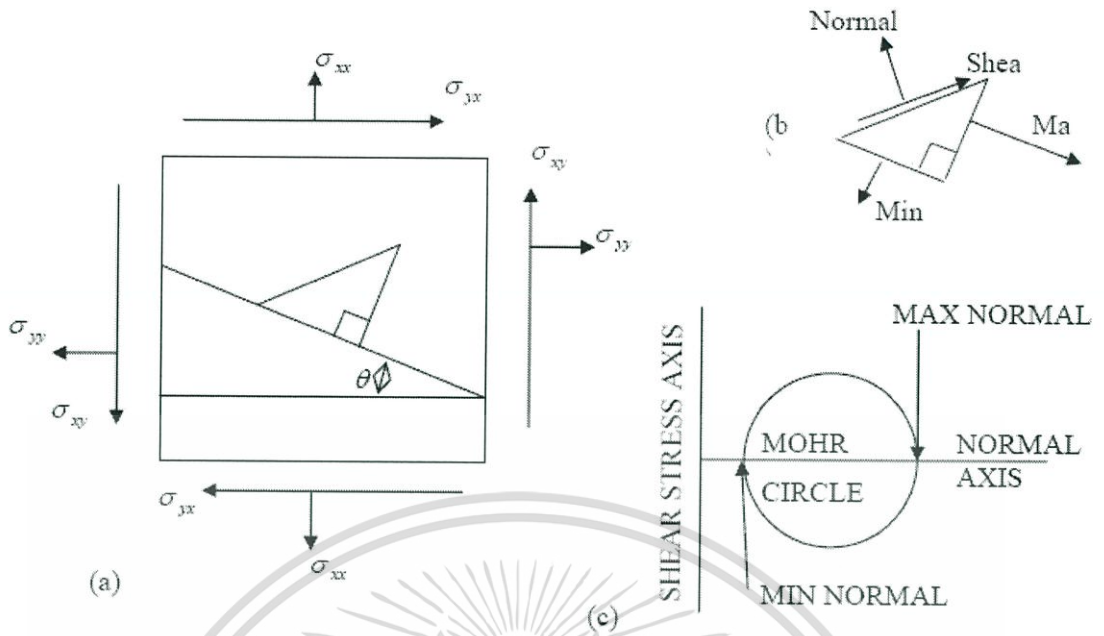
การออกแบบถังจัดเก็บข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่มีความจำเป็นต่อไปนี้:

- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานภายใน
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกำแพง
- การอัด

ปัจจัยอื่น ๆ ที่ควรพิจารณารวมถึงอุณหภูมิและความชื้นพร้อมกับเฟสไดอะแกรม ถ้า caking อาจจะมีปัญหาหนึ่งในเครื่องทดสอบร่วมกันมากขึ้นเป็นเครื่องทดสอบแรงเฉือน Jenike เครื่องทดสอบแรงเฉือน Jenike มีความคล้ายคลึงกันในการทดสอบแรงเฉือนสามแกน ตัวอย่างผงจะถูกวางไว้ในช่องใส่ตัวอย่างการเคลื่อนไหวยของผู้ถือตัวอย่างที่ทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างผงตัวอย่างและตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานผนัง หรือการเคลื่อนไหวยที่ทำให้เกิดแรงเฉือนภายในในผง เพื่อตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานภายในของแรงเสียดทาน

ฟังก์ชันการไหลของวัสดุ

ไม่ว่าจะเป็นถึงดำเนินการในการไหลหรือไหลช่องทางขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการไหลของวัสดุผง และวิธีการที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับผนังถึง วิธีการหนึ่งของการวิเคราะห์ความเครียดในที่มั่นคงผ่านวงกลมเมอร์ วงกลมขอจัดความเครียดที่เกี่ยวข้องกับความเครียดปกติได้รับความเครียดปกติและเฉือนบนบล็อกที่เป็นของแข็ง (รูปที่ 2.6) ก็เป็นไปได้ที่จะหามุม (θ) ของพื้นผิวภายในบล็อกดังกล่าวว่าความเครียดปกติบนพื้นผิวใหม่สูงสุด (หรือขั้นต่ำ) และ แรงเฉือนเป็นศูนย์

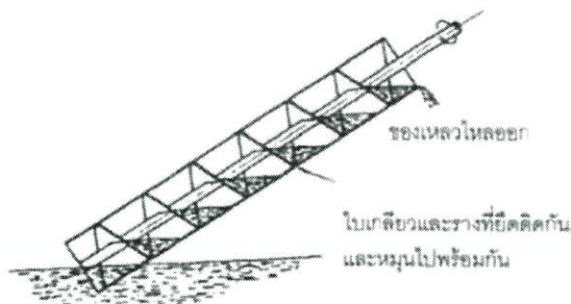


รูปที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันการไหลของวัสดุ เน้นในการป้องกัน (a) θ คือมุมพื้นผิวสูงสุด / ต่ำสุดแรงปกติกับศูนย์เฉือน (b) แสดงให้เห็นว่าองค์กำลังสามเหลี่ยมปกติสูงสุดและต่ำสุดที่มีเฉือนไม่มี (c) มอร์วงกลม[8]

ในการทำงานเดียวกันเราสามารถหามุมที่จัดความเครียดเป็นสูงสุดหรือต่ำสุด นี้มักจะเกิดขึ้น 90° จากความเครียดสูงสุดปกติสูงสุดและต่ำสุดที่จะเขียนในพล็อตความเครียด (รูปที่ 2.6c)

2.2.3 สกรูขนถ่ายวัสดุ [9]

สกรูขนถ่ายวัสดุ เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่มีใช้งานมานานกว่า 2,000 ปีแล้ว โดยมีชื่อเรียกต่างๆไปว่า “ระหัดเกลียว” (Archimedean screws) ใช้สำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิภูลประกอบด้วย รางสกรู และใบเกลียวกันหอยที่ยึดติดกันและหมุนไปพร้อมๆกัน ปลายด้านล่างจะจุ่มอยู่ในน้ำ การหมุนจะทำให้น้ำซึ่งอยู่ระหว่างช่องว่างของเกลียวเคลื่อนตัวขึ้น และเลื่อนไหลไปบนใบเกลียวดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถึงแม้ว่าสกรูขนถ่ายวัสดุจะมีประสิทธิภาพทางกลสูง แต่จะมีขีดจำกัดในเรื่องของมุมเอียงที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ ซึ่งถ้ามุมเอียงในการขนถ่ายมากเกินไปจะทำให้วัสดุไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามใบเกลียวของสกรูได้ ดังนั้นขนาดของใบเกลียวระยะพิตซ์และมุมเอียงในการขนถ่ายวัสดุจะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุ



รูปที่ 2.7 แสดงสกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกุล[9]

เพื่อให้การเลือกชนิดของอุปกรณ์ลำเลียงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นจึงควรทราบถึงข้อดี-ข้อเสีย ของสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ข้อดีของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

- 1) ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุชนิดอื่น
- 2) เป็นการขนถ่ายวัสดุแบบปิดทำให้สามารถป้องกันความชื้น และฝุ่นละอองเข้าไปปนเปื้อนกับวัสดุชนิดอื่น
- 3) การสร้างและการประกอบไม่ยุ่งยาก เพราะชิ้นส่วนต่างๆมีจำหน่ายตามท้องตลาดและมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน
- 4) การบำรุงรักษาต่ำเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อย
- 5) สามารถนำไปขนถ่ายวัสดุได้หลายประเภท

ข้อเสียของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

- 1) ไม่เหมาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นเส้นใย หรือ วัสดุเหนียวที่เกาะติดกัน
- 2) ระยะทางขนถ่ายวัสดุต่ำ
- 3) ถ้าวัสดุเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจะทำให้ต้องใช้กำลังขับมา
- 4) ประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุลดลงถ้าขนถ่ายวัสดุในแนวเอียงหรือแนวตั้ง

หลักการทำงานและการใช้งาน

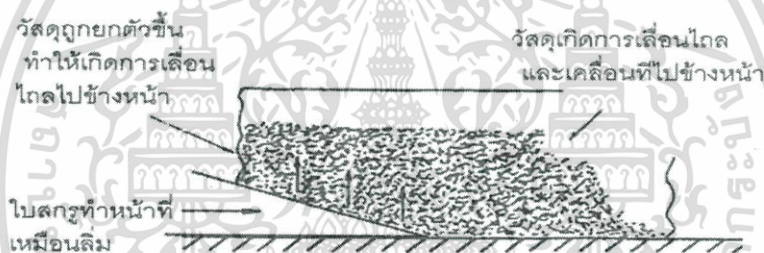
สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ในการขนถ่ายวัสดุที่เหมาะสมสำหรับขนถ่ายวัสดุที่มีสมบัติในการไหลดี คุณสมบัติในการไหลของวัสดุนี้มีความสำคัญมากต่อการทำงานของสกรูขนถ่ายวัสดุเนื่องจากสกรูลำเลียง ที่ติดตั้งอยู่กับเพลลาหรือท่อตรงหมุนอยู่ภายในรางหรือท่อที่อยู่กับที่ผลักดันวัสดุไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนล่างของรางดัง แสดงในรูปที่ 2.8 การหมุนของใบเกลียวจะทำให้เกิดการยกวัสดุขึ้นเหมือนลักษณะลิ้ม การเคลื่อนที่ขึ้นของวัสดุจะทำให้วัสดุเกิดการเลื่อนไหลไปข้างหน้าได้และการหมุนของใบเกลียวจะทำงานเสมือนลิ้มที่ทำหน้าที่ผลักดัน และตัดเฉือนวัสดุจากการหมุนของใบเกลียวทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง

ตัวรางของสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วไป สามารถแบ่งเป็นสองชนิด คือ รางแบบกลม และรางรูปตัวยู ซึ่งรางแบบกลมจะเป็นสกรูที่ใช้ความเร็วรอบสูง เป็นแบบที่เคลื่อนที่ได้ สามารถนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆได้ และยังใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวตั้งได้อีกด้วย ซึ่งการขนถ่ายวัสดุตามแนวตั้งนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุด้วย โดยวัสดุจะต้องมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติในการไหลได้ดี ส่วนรางแบบตัวยูจะใช้ความเร็วต่ำกว่า และเป็นแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่

สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่สามารถจ่ายวัสดุและรับวัสดุได้หลายตำแหน่งโดยการใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมทิศทาง การไหลของวัสดุ และยังเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่สามารถควบคุมปริมาณการขนถ่ายวัสดุได้อย่างดีอีกด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว[9]

การพิจารณาออกแบบ

ในการออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่ขนถ่าย และหลักการทำงานของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุชนิดต่างๆ ที่สำคัญในการออกแบบของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุใดๆ ก็คือ ความรู้ความเข้าใจถึงทิศทางที่วัสดุไหลผ่านและผลกระทบอื่นๆ ต่อการไหลของวัสดุ

อัตราการไหลขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลส่วนมากมักจะมีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง อัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดมักจะมากกว่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ยต่อวันหรือต่อชั่วโมง เนื่องจากในบางเวลาอาจมีอัตราการขนถ่ายวัสดุมากหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยได้เช่น ในตอนเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของการขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น นอกจากนี้ยังปรากฏว่าความหนาแน่นของวัสดุในขณะที่ขนถ่ายวัสดุอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขณะที่วัสดุกำลังเคลื่อน จะมีอากาศเข้าไปผสมกับวัสดุทำให้ปริมาตรของวัสดุเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของวัสดุลดลง ซึ่งอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุที่ขนถ่าย ดังนั้นการกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดควรกำหนดจากความหนาแน่นของวัสดุในขณะขนถ่าย

ในระบบขนถ่ายวัสดุหลายๆ ระบบการจ่ายวัสดุเข้าไปในอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุอาจมีค่าที่ไม่คงที่ได้ เช่น ประสิทธิภาพด้านล่างของถังเก็บวัสดุ วัสดุจะไหลจากด้านล่างของถังเก็บวัสดุอย่างสม่ำเสมอไม่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความไม่แน่นอน จึงทำให้อัตราการขนถ่ายวัสดุมีค่าไม่คงที่

การแบ่งประเภทของวัสดุ

การแบ่งประเภทของวัสดุจะช่วยในการตัดสินใจเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุและกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะถูกแบ่งออกเป็นสี่ชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะสามารถเขียนรหัสของวัสดุตามที่สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้กำหนดไว้เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกอุปกรณ์การขนถ่ายวัสดุ และการหาอัตราขนถ่ายวัสดุต่อไป

การบอกคุณสมบัติของวัสดุของสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายของอเมริกา (CEMA) ในที่นี้จะเริ่มด้วยตัวอักษรบอกขนาดวัสดุ A B C D หรือ E แล้วตามด้วยตัวเลขสองตัว ตัวเลขตัวแรกจะเป็นคุณสมบัติในการไหลของวัสดุ ตัวเลขตัวต่อไปจะเป็นความคมของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติวัสดุ[9]

ตัวอักษรบอกขนาดวัสดุ	คุณสมบัติการไหล	ความคม
A หมายถึงวัสดุขนาดละเอียดมาก	1 ไหลได้ดีมาก	5 มีความคมน้อย
B หมายถึงวัสดุขนาดละเอียด	2 ไหลได้ดี	6 มีความคมปานกลาง
C หมายถึงวัสดุที่เป็นเม็ด	3 ไหลได้ปานกลาง	7 มีความคมมาก
D หมายถึงวัสดุที่เป็นก้อน	4 ไหลได้ยาก	
E หมายถึงวัสดุที่มีขนาดไม่แน่นอน		

ประเภทที่ 1 วัสดุเบา ไหลได้ดี ไม่มีความคม เช่น เมล็ดข้าวสาลี ข้าวไรย์ ผักข้าวโพด กราไฟต์ แปะหมี่ และอื่นๆ รหัสวัสดุของ CEMA คือ A15, A25, B15, B25, C15, C25

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มีความคม คุณสมบัติในการไหลได้น้อยกว่าวัสดุประเภทที่ 1 (วัสดุก้อนเล็กผสมกับวัสดุละเอียด) เช่น แป้งอบขนมปัง ผักข้าวบ่น ถ่านหินบดละเอียด ข้าวโพดบด รหัสวัสดุของ CEMA คือ A35, A45, B35, C35, C45, D45, D15, D25, D35, D45, E15, E25, E35, E45

ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีคมมากกว่า ต้องการความเร็วรอบของสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์ แก้ว ทราย ขอลคุด และอื่นๆ วัสดุเหล่านี้จะรหัสความคม 6 รหัสวัสดุของ CEMA คือ A16, A26, A36, A46, B16, B26, B36, B46, C16, C26, C36, C46, D16, D26, D36, D46, E16, A26, A36, A46

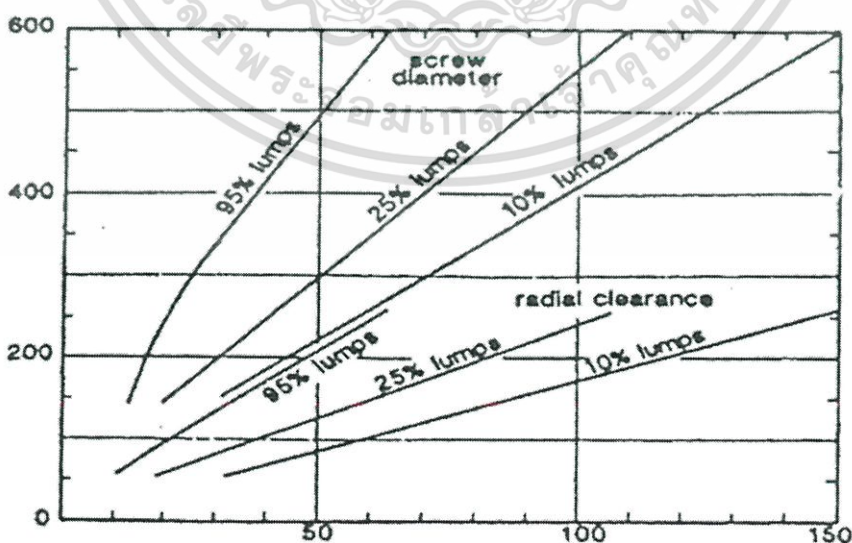
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคม และคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น แก้ว ถ่านหิน, กากถ่านหิน, กากแร่จากเตา, อะลูมินา(alumina) แร่ bauxite บด ททรายแห้ง อื่นๆ วัสดุเหล่านี้จะมีรหัสความคม 7 รหัสวัสดุของ CEMA คือ A17, A27, A37, A47, B17, B27, B37, B47, C17, C27, C37, C47, D17, D27, D37, D47, E17, A27, A37, A47

ข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของวัสดุ

ขนาดของสกรูขนถ่ายวัสดุไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการขนถ่ายวัสดุที่ต้องการเท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุที่จะขนถ่ายด้วย วัสดุบางชนิดมีก้อนแข็งไม่แตกตัวขณะผ่านสกรูขนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของวัสดุ ที่ขนถ่ายด้วย ส่วนในกรณีที่ยกเว้นวัสดุสามารถแตกตัวได้ง่ายขณะผ่านสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของก้อนวัสดุที่จะขนถ่ายขนาดของก้อนวัสดุสามารถแบ่งเป็นสามชนิดดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่สุดไม่เกิน 10% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่อีก 90% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 10%lump)
2. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่สุดไม่เกิน 25% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่อีก 75% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 25%lump)
3. วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนปนอยู่กับวัสดุละเอียด โดยที่วัสดุก้อนใหญ่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดก้อนใหญ่สุดไม่เกิน 95% ของวัสดุทั้งหมด และเป็นวัสดุก้อนเล็กมากกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุขนาดใหญ่อีก 5% ของวัสดุทั้งหมด(เรียกว่า 95%lump)



รูปที่ 2.9 แสดงขนาดก้อนวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 เป็นขนาดวัสดุก้อนใหญ่สุดที่ทางสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ลำเลียงของอเมริกา (CEMA) ที่มีความสัมพันธ์กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู และระยะว่างตามแนวรัศมี (radial clearance) ของสกรูขนถ่ายวัสดุ เช่น วัสดุขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ประเภท 25% lump จะต้องใช้สกรูขนถ่ายวัสดุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู 300 มิลลิเมตร (ประมาณ 12 นิ้ว) และมีระยะว่างรัศมี (radial clearance) 125 มิลลิเมตร (ประมาณ 5 นิ้ว) ดังนั้นในกรณีที่สกรูขนถ่ายวัสดุทำการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน จะสามารถใช้รูปที่ 2.9 สำหรับกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรูได้ โดยที่ช่องว่างระหว่างใบสกรูกับรางสกรูจะมีค่าประมาณ 12-15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และการคำนวณหาขนาดของเพลาสกรูจากข้อมูลเบื้องต้นจะแสดงให้เห็นจากตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย[9]

ในขณะที่สกรูขนถ่ายวัสดุทำการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนจากถังเก็บวัสดุ วัสดุที่เป็นก้อนจะถูกเบียดให้ติดกับผนังราง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเสียดสีกับผนังของรางสกรู ทำให้เกิดการสึกหรอ และอาจทำให้วัสดุที่ถูกเบียดจนติดอยู่กับผนังของรางสกรู จึงต้องทำตัวสกรูให้มีระยะเยื้องศูนย์กลางกับรางสกรูขนาดประมาณ 38-50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงหน้าตัดของรางสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการชนถ่ายวัสดุ

อัตราการชนถ่ายวัสดุของสกรูชนถ่ายวัสดุหรือสกรูป้อนวัสดุ จะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รูปร่างของใบสกรู
2. ความเร็วรอบของสกรู
3. มุมลาดเอียงในการชนถ่ายวัสดุ
4. รูปร่างของถังเก็บวัสดุและรางสกรูชนถ่ายวัสดุ
5. คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
6. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุบนใบสกรูและราง

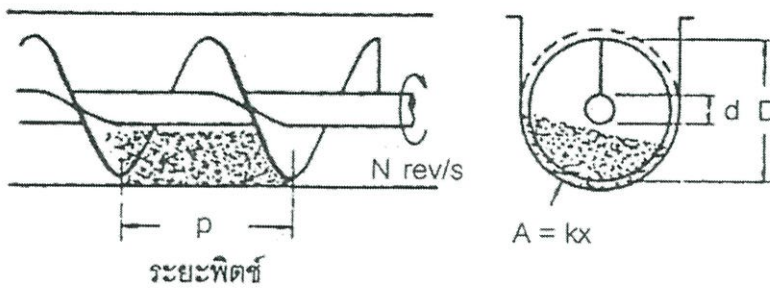
สกรูชนถ่ายวัสดุที่มีแปรงแขวนอยู่ภายใน(internal hanger bearings) ส่วนใหญ่จะวัดปริมาณวัสดุจากอุปกรณ์ที่จ่ายวัสดุให้สกรูชนถ่ายวัสดุ ปริมาณวัสดุในรางสกรูจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของสกรูชนถ่ายวัสดุ ซึ่งจะถูกจำกัดไว้ไม่เกิน 45% ของพื้นที่หน้าตัดราง เพื่อป้องกันวัสดุเข้าไปทำความเสียหายกับแปรงและปริมาณวัสดุบนพื้นที่หน้าตัดจะลดลงอีกถ้าวัสดุมีความคมมากขึ้น

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ชนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้มีการพิมพ์ตารางอัตราการชนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรสำหรับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุถึง 45% ซึ่งคิดตามพื้นที่หน้าตัดเต็มของใบเกลียวสกรูและไม่คำนึงถึงวัสดุที่อยู่ตรงช่องว่างระหว่างใบสกรูกับตัวรางสกรูภายใต้สภาพการใช้งานทั่วไป การที่ไม่คำนึงถึงปริมาตรของวัสดุดังกล่าวเป็นเรื่องไม่สำคัญนักในกรณีที่วัสดุเป็นผงละเอียด ส่วนใหญ่มักจะหยุดอยู่ตามช่องว่างนั้น หรืออาจจะเคลื่อนที่เข้ามาหลายๆ อย่างไรก็ตามวัสดุบางชนิด เช่น วัสดุก้อนขนาดใหญ่ หรือวัสดุที่เป็นเส้นใยจะสามารถเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมดในช่องว่าง ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าแฟกเตอร์ระยะพิตซ์ใบสกรู[9]

รายละเอียดของระยะพิตซ์	CF_1
ระยะพิตซ์ = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.00
ระยะพิตซ์ = $2/3$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.50
ระยะพิตซ์ = $1/2$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	2.00
ระยะพิตซ์ = $3/2$ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงหลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ[9]

การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุสามารถหาได้จากรูปแบบการขนถ่ายวัสดุในรูปที่ 2.12 การหมุนของสกรูในรางจะทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องในรางของสกรูขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วโดยประมาณเท่ากับความเร็วรอบของสกรูที่กำลังหมุนอยู่ในหนึ่งรอบการเคลื่อนที่ของสกรูจะเคลื่อนที่ไปได้หนึ่งเท่าของระยะพิตช์สกรู (p) ทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ(v) และความเร็วรอบของสกรูเป็นดังนี้

$$v = pN \quad (2.1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ

p คือ ระยะพิตช์สกรู

N คือ ความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ

ดังนั้นอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$\dot{V} = pNA \quad (2.2)$$

เมื่อ \dot{V} คือ อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร

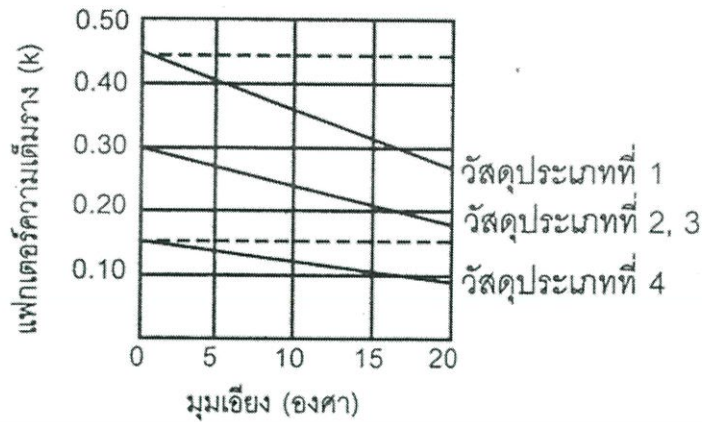
$$M_s = \rho pNA \quad (2.3)$$

เมื่อ M_s คือ อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ

ในทางปฏิบัติ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะมีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของรางสกรูที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงคูณพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุด้วย “แฟกเตอร์ความเต็มราง”(k) ซึ่งแฟกเตอร์นี้สามารถดูได้จากรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงแฟกเตอร์ความเต็มรวง (k) [9]

จากที่กล่าวมาแล้วว่าวัสดุจะแบ่งออกเป็นสี่ชนิดและจากรูปที่ 2.13 จะสามารถสรุปการนำสรุปแฟกเตอร์ความเต็มรวงไปใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุได้ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 วัสดุเบา ไหลได้ดี ไม่มี ความคม เช่น เมล็ดข้าวสาลี ข้าวไรย์ ผักข้าวโพด กราไฟต์ แบริ่ง และอื่นๆ แฟกเตอร์ความเต็มรวง $k = 0.45$

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มีความคม คุณสมบัติในการไหลได้น้อยกว่าวัสดุประเภทที่ 1 (วัสดุอ่อนเล็กน้อยกับวัสดุละเอียด) เช่น แบริ่งอบขนมปัง ผักข้าวบ่น ถ่านหินละเอียด ข้าวโพดบด แฟกเตอร์ความเต็มรวง $k = 0.3$

ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีความคมมากกว่า ต้องการความเร็วรอบของสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์แห้ง ปูนซีเมนต์ เกลือ ถ่านไม้ ซอล์คอบด์ และอื่นๆ วัสดุเหล่านี้มีรหัสความคม 6 แฟกเตอร์ความเต็มรวง $k = 0.3$

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคมและคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น ถ่านหิน, กากถ่านหิน, กากแร่จากเตา, อะลูมินา(alumina) แร่bauxiteบด ททรายแห้ง อื่นๆ วัสดุเหล่านี้มีรหัสความคม 7 แฟกเตอร์ความเต็มรวง $k = 0.15$

ค่าแฟกเตอร์ความเต็มรวงนี้ ใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุตามแนวระดับเท่านั้น สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเต็มรวงนี้ได้จากรูปที่ 2.7

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ และรวมค่าแฟกเตอร์ความเต็มรวงเข้าไปจะได้เป็นสมการที่ (2.4)

$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4} \quad (2.4)$$

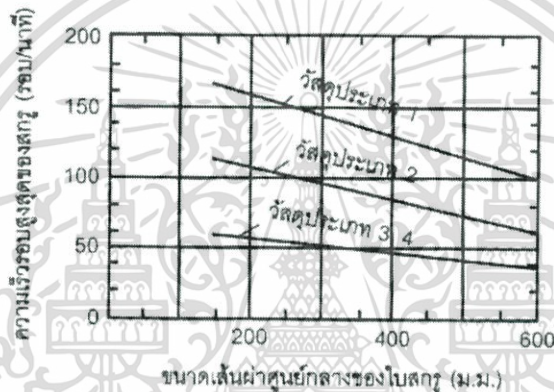
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

จากสมการที่ (4) จะสามารถใช้สำหรับการประมาณค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเท่านั้น เนื่องจากในทางปฏิบัติ การป้อนวัสดุเข้าสู่สกรูขนถ่ายวัสดุเท่านั้นจะมีอัตราการป้อนวัสดุไม่แน่นอน ทำให้แฟกเตอร์ความเต็มรามีค่าไม่แน่นอนตามไปด้วย จึงอาจทำให้ไม่สามารถคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุที่แน่นอนได้

ในการเลือกและการออกแบบสกรูขนถ่ายวัสดุ ความเร็วรอบสูงสุดที่สามารถทำงานได้นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู ปริมาณวัสดุในรางสกรูและคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถค่าความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุได้จากรูปที่ 2.14



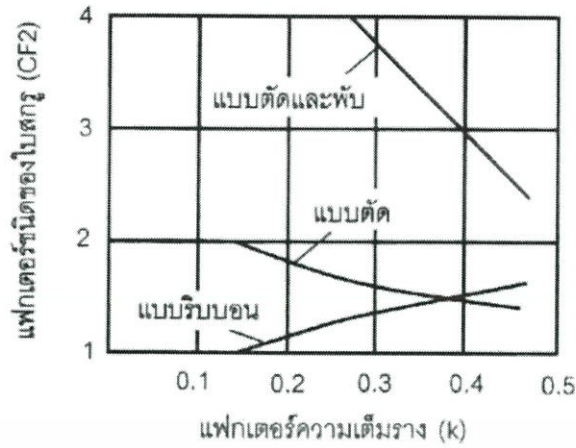
รูปที่ 2.14 แสดงความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ[9]

สำหรับระยะพิตช์ใบสกรูก็มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุด้วย จากรูปที่ 2.12 เมื่อพิจารณาการหมุนของสกรู 1 รอบวัสดุจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเท่ากับระยะพิตช์ ดังนั้นในกรณีที่สกรูหมุนไป 1 หมุนแต่วัสดุไม่ได้เคลื่อนที่ไปเท่ากับระยะพิตช์ ก็จะต้องค้ำไว้ถึงระยะพิตช์ใบสกรูด้วย แฟกเตอร์ระยะพิตช์ใบสกรู (CF_1) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

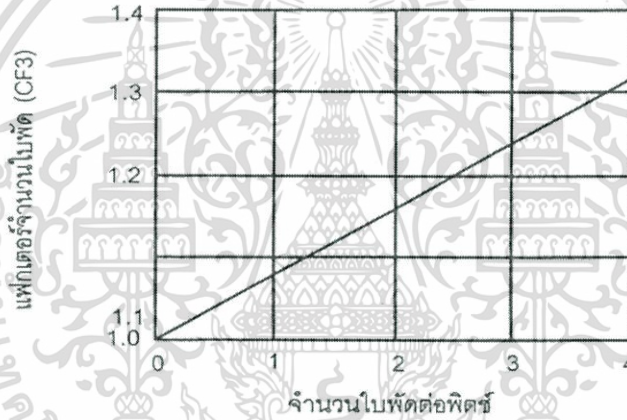
ตารางที่ 2.5 แสดงแฟกเตอร์ชนิดใบสกรู (F_f) [9]

ชนิดของสกรู	แฟกเตอร์ชนิดใบสกรูตามขนาดของแฟกเตอร์ความเต็มรียง			
	15%	30%	45%	95%
ใบสกรูมาตรฐาน	1.0	1.0	1.0	1.0
ใบตัด	1.10	1.15	1.20	1.3
ใบตัดและพับ	N.R.	1.50	1.70	2.2
ใบแบบริบบอน	1.05	1.14	1.20	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงแฟกเตอร์ชนิดของโบสกรู[9]



รูปที่ 2.16 แสดงแฟกเตอร์จำนวนโบสกรู[9]

ชนิดของโบสกรูก็เป็นแฟกเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุเช่นกัน ซึ่งแฟกเตอร์ชนิดของโบสกรูนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโบสกรู (CF_2) และจำนวนโบสกรูสำหรับการกวหรือผสมวัสดุต่อระยะพิตช์ (CF_3) โดยแฟกเตอร์ทั้งสองนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุเมื่อรวมเอาแฟกเตอร์ต่างๆ ไว้แล้วจะคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (2.5)

$$M_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4CF_1 CF_2 CF_3} \quad (2.5)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (2.5) เมื่อกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุและขนาดของโบสกรูมาแล้วก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ (2.6)

$$N = \frac{4m_s CF_1 CF_2 CF_3}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา(CAMA) ได้พิมพ์ตารางอัตราการผลิตขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งสามารถจะนำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยสมการได้ โดยสามารถหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ 2.7

$$N = \frac{\text{อัตราการผลิตขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร}}{\text{ปริมาณการขนถ่ายวัสดุต่อรอบในตารางที่ 3}} CF_1 CF_2 CF_3 \quad (2.7)$$

โดยที่ความเร็วรอบของใบสกรูนั้นจะต้องมีค่าไม่เกินค่าความเร็วรอบสูงสุดที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

สำหรับขั้นตอนในการคำนวณออกแบบ และเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุ จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย และชนิดของใบสกรูที่เหมาะสม พร้อมทั้งแฟกเตอร์ความเต็มราง

2. ถ้าวัสดุมีลักษณะเป็นก้อน จะสามารถเลือกขนาดของใบสกรูได้จากรูปที่ 2.9

3. หาความเร็วรอบสูงสุดของเพลาสกรูจากรูปที่ 2.9

4. แฟกเตอร์ของระยะพิตช์ ชนิดของใบสกรู และจำนวนใบพิตช์สำหรับการกวหรือผสมวัสดุต่อระยะพิตช์(แฟกเตอร์ CF_1 , CF_2 และ CF_3 ตามลำดับ) จากตารางที่ 2.4 รูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าแฟกเตอร์ใบพิต (F_p) [9]

จำนวนใบพิตต่อระยะพิตช์	0	1	2	3	4
แฟกเตอร์ใบพิต (F _p)	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าแฟกเตอร์วัสดุ (F_m) [9]

รายชื่อวัสดุ	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m ³)	แฟกเตอร์วัสดุ (F _m)
Alumina	880-1040	1.8
Ammonium nitrate	720-990	1.3
Barytes(powder)	1920-2880	2.0
Bentonite(powder)	800-960	0.7
Bonemeal	800-960	1.7
Cement(portland)	1510	1.4
China clay(konlin)	1010	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) แสดงค่าแฟกเตอร์วัสดุ (F_m) [9]

รายชื่อวัสดุ	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)	แฟกเตอร์วัสดุ (F_m)
Coal(-15 mm)	780-980	1.0
Coffee(ground)	400	0.6
Cullet(fine)	1280-1920	2.0
Flour(wheat)	530-640	0.6
Flyash	480-720	2.0
Milk(powder)	320-720	0.5
Mill scale(steel)	1920-2000	3.0
Oat(crushed or rolled)	300-380	0.6
Pear(dried)	720-800	0.5
PVC(powder)	320-480	1.0
PVC(pallets)	320-480	0.6
Polytheiene, resin pellets	480-560	0.4
Rice	700-800	0.4
Sand	1440-1920	1.7-2.6
Sawdust(dry)	160-208	0.7
Soup powder, detergent	240-800	0.9
Sugar(dry granulated)	800-880	1.0-1.2
Talcum powder	800-960	0.8
Vermiculite(expand)	260	0.5
wheat	720-770	0.4
Wood(flour)	260-580	0.4
Wood(shavings)	130-260	1.5

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าประมาณของแฟกเตอร์ของวัสดุ[9]

ประเภทวัสดุ	ค่าแฟกเตอร์วัสดุ (F_m)
ประเภทที่ 1	0.5 – 1.0
ประเภทที่ 2	1.0 – 2.0
ประเภทที่ 3	2.0 – 3.0
ประเภทที่ 4	3.0 – 4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดสอบเลือกขนาดของโบสกรู แล้วคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุจากสมการที่ (5) โดยใช้ความเร็วรอบสูงสุดจากข้อ 3 ซึ่งจะต้องได้อ่านค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุมากกว่าที่โจทย์กำหนด จากนั้นคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุจากตารางที่ 2.7 ความเร็วรอบที่คำนวณมากกว่าค่าสูงสุดให้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโบสกรูที่โตขึ้น

การหาค่ากำลังขับสกรูขนถ่ายวัสดุ

การคำนวณหาค่ากำลังขับของสกรูขนถ่ายวัสดุเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากค่าที่ถูกต้องจริงๆ ในการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลแต่ละชนิดไม่สามารถหาได้ ซึ่งสมการต่างๆ ต่อไปนี้เป็นสมการจากการแนะนำตามของมาตรฐานของประเทศอังกฤษ(BS) และสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA)

กำลังขับสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วๆ ไปแล้วอาจแบ่งได้เป็นสามประเภทดังนี้

- กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่
- กำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ
- กำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง

กำลังขับสำหรับเอาชนะสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโบสกรู, ความยาวของสกรูขนถ่ายวัสดุ และความเร็วรอบของเพลาสกรูสมการที่ (2.8) ได้จากการทดลองซึ่งสามารถให้ผลการคำนวณที่เชื่อถือได้ และเป็นสมการรูปแบบที่ง่ายดังนี้

$$P_f = 75.7LND^{1.7} \quad (2.8)$$

เมื่อ P_f คือ กำลังขับสำหรับเอาชนะความเสียหาย(Watt)

L คือ ความยาวสกรูขนถ่ายวัสดุ(m)

N คือ ความเร็วรอบของเพลาสกรู(Hz)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโบสกรู(m)

เป็นการยากที่จะคำนวณกำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่ถูกต้องได้ เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามธรรมชาติของวัสดุที่แตกต่างกันไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับอัตราการขนถ่ายวัสดุ, ความหนาแน่นของวัสดุ และระยะทางขนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ากำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุได้จากสมการที่ (2.9)

$$P_m = F_f F_p F_m m_s g L \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_m คือ กำลังขับที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ (watt)

F_f คือ แฟกเตอร์โบสกรู(ตารางที่ 2.5)

F_p คือ แฟกเตอร์โบพัด(ตารางที่ 2.6)

F_m คือ แฟกเตอร์วัสดุ(ตารางที่ 2.7)

ρ_b คือ ความหนาแน่นวัสดุ(kg/m³)

V คือ อัตราการขนถ่ายเชิงปริมาตร(m³/sec)

L คือ ระยะทางขนถ่ายวัสดุ(m)

และจะสามารถทราบค่าโดยประมาณของแฟกเตอร์วัสดุได้จากชนิดของวัสดุ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.7 ส่วนกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้งสามารถหาได้จากสมการที่ (2.10)

$$P_v = m_v g H \quad (2.10)$$

เมื่อ P_v คือ กำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง (Watt)

H คือ ระยะทางตามแนวตั้ง (m)

ดังนั้นกำลังขับรวมสำหรับโบสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากการรวมกำลังขับทั้งสามประกอบเข้าด้วยกัน แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์กำลังขับ(overload factor, F_o) และหารด้วยประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ(η)

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v) F_o}{\eta} \quad (2.11)$$

เมื่อ P คือกำลังขับรวม(watt)

F_o คือแฟกเตอร์กำลังขับ ถ้า $P_f + P_m$ มีค่ามากกว่า 4 kW ให้ใช้ค่า $F_o = 1.0$

η คือประสิทธิภาพการส่งรับกำลังขับ (โดยทั่วไปมีค่า 0.85-0.95)

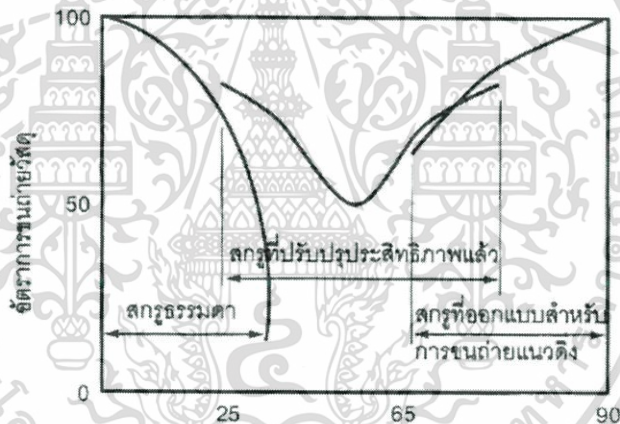
การนำเอาสกรูขนถ่ายวัสดุไปขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนั้นจะสามารถทำได้เฉพาะวัสดุบางชนิดเท่านั้น ซึ่งสามารถดูค่ามุมเอียงสูงสุดที่สามารถขนถ่ายวัสดุได้จากตารางวัสดุได้ของสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา(CEMA) โดยทั่วไปแล้วมุมเอียงควรมีค่าไม่เกิน 20 องศา การขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนี้จะมีประสิทธิภาพในการขนถ่ายวัสดุต่ำกว่าการขนถ่ายวัสดุตามแนวระดับ การที่ประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุลดลง คือปริมาณการขนถ่ายวัสดุลดลง และต้องใช้กำลังในการขนถ่าย

วัสดุสูงขึ้นด้วย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการไหลของวัสดุเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ปริมาตรการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนั้นสามารถประมาณค่าได้จากรูปที่ 2.17

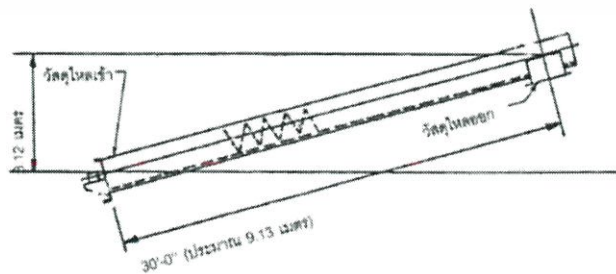
ดังนั้นการคำนวณหากำลังที่ใช้ขั้วสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง ควรจะต้องเพื่ออัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากรูปที่ 2.18

การปรับปรุงสกรูขนถ่ายวัสดุสำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงเพื่อให้มีประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุสูงขึ้นดังรูปที่ 2.18 มีต่อไปนี้

1. จัดให้ช่องว่างระหว่างใบสกรูกับรางสกรูขนถ่ายวัสดุให้มีค่าน้อยที่สุด
2. ควรใช้รางสกรูขนถ่ายวัสดุแบบทอกลม
3. ลดตัวแขวนเพลาสกรู(hanger) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีตัวแขวนเลย ถ้าระยะทางขนถ่ายวัสดุไม่ยาวมากนัก ในกรณีเพลายาวมากอาจทำให้เกิดการแกว่งของเพลาก็ได้
4. ใช้ใบสกรูที่มีระยะพิตช์สั้นตั้งแต่ 1.5, 2.0 หรือ 3.0 พิตช์ต่อรอบของสกรู เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง



รูปที่ 2.17 แสดงอัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง[9]



รูปที่ 2.18 แสดงสกรูขนถ่ายวัสดุที่มีระยะทางขนถ่ายวัสดุ 9.13 เมตรและมุมเอียง 20 องศา[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 กระบวนการบดย่อยวัสดุ (Size reduction) [10]

การลดขนาดอนุภาควัตถุดิบเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก เนื่องจากการลดขนาดอนุภาคจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว และทำให้รูปร่างอนุภาคเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อการอัดตัว การผสมและการเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนั้น นอกจากนั้น การลดขนาดอนุภาคยังสามารถปรับปรุงสมบัติของอนุภาคได้อีกหลายประการ เช่น กำจัดสิ่งเจือปน ลดปริมาณรูพรุนและตำหนิต่างๆ ในเนื้อสาร ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จอีกด้วย

การลดขนาดอนุภาคอาจแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การย่อย (grinding) และการบด (milling) การย่อยขนาดเป็นการทำให้วัตถุดิบที่เป็นก้อนใหญ่ๆ แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ระดับมิลลิเมตร กลไกการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวอาหารของคนเรา กล่าวคือจะใช้แรงกด บีบ หรือกระแทกด้วยวัตถุที่แข็งกว่า จนกระทั่งวัตถุดิบแตกออกจากกันนั่นเอง ตัวอย่างของเครื่องย่อยขนาด เช่น Jaw crusher, Roll crusher, Hammer mill เป็นต้น

ส่วนการบดเป็นการทำให้วัตถุดิบเล็กลงไปอีกถึงระดับไมครอนหรือเล็กกว่านั้น กลไกการทำงานจะคล้ายกับการบดอาหารในกระเพาะของสัตว์ปีก กล่าวคือ จะมีลูกบดบรรจุอยู่ในหม้อบดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวบด เมื่อหม้อบดหมุนไป ลูกบดจะเคลื่อนที่และเสียดสีกัน ทำให้อนุภาคที่อยู่ระหว่างลูกบดถูกกระแทกเสียดสี จนแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ การบดอาจทำได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง ซึ่งทั้งสองแบบก็มีข้อดีข้อเสียและการนำไปใช้งานต่างกัน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบด ได้แก่ ความเร็วรอบในหม้อนของหม้อบด ซึ่งจะมีผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกบด การใช้ความเร็วที่เหมาะสมจะทำให้ลูกบดเกิดการเสียดสีกัน และประสิทธิภาพในการบดเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น การเลือกใช้ลูกบดก็เป็นสิ่งสำคัญ ลูกบดที่ดีควรมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกันมาก เพื่อให้บริเวณที่อนุภาคจะถูกบดมากขึ้น มีความหนาแน่นสูงเพื่อให้การบดเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และต้องมีความแข็งสูงกว่าสารที่จะบดเพื่อลดการสึกหรอ ทำให้ลูกบดมีอายุใช้งานยาวนานและลดปริมาณสิ่งเจือปนในสารที่จะบดลง ลูกบดที่ใช้กันมีหลายชนิด เช่น ก้อนกรวด ปอร์ซเลน อะลูมินา และโลหะ โดยทั่วไปแล้วในการบดจะใช้ลูกบดหลายขนาดปะปนกัน โดยจะใส่ประมาณครึ่งหนึ่งของความจุหม้อบดที่ใช้ และจะมีการตรวจสอบเพื่อคัดลูกบดที่แตกหรือว่าสึกหรอจนไม่ได้ขนาดออก และเติมลูกบดใหม่ลงไปแทน เพื่อคงสัดส่วนของขนาดลูกบดที่ใช้ ซึ่งจะทำให้การบดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับเวลาในการบดนั้นขึ้นอยู่กับความแข็งของสารที่จะบด เช่น ในการบดวัตถุดิบจำพวกดินอาจใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมง แต่หากเป็นแร่ที่มีความแข็งสูงๆ เช่น ควอร์ตซ์ หรืออะลูมินา จะต้องใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้อนุภาคที่บดได้มีขนาดละเอียดตามต้องการ

ประเภทของแรงที่ใช้ในการลดขนาดของวัสดุ

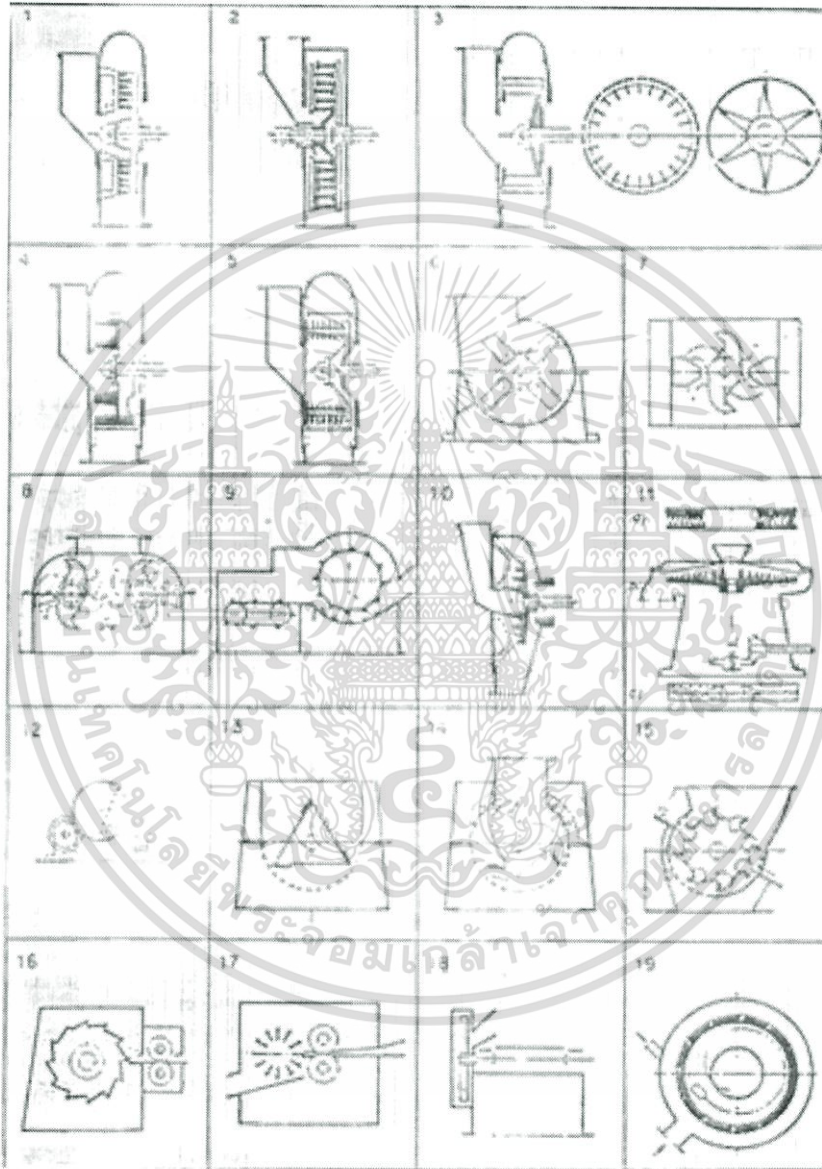
1. แรงอัด (Compression) จะเป็นการลดขนาดแบบหยาบใช้กับวัสดุที่แข็ง เช่น Crushing roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงกระแทก (Impact) ใช้การตี/ตัดทำให้วัสดุแตกออกจากกัน มีทั้งแบบหยาบและละเอียด เช่น Hammer mill

3. แรงเฉือน (Shear หรือ Attrition) ใช้ลดขนาดวัสดุที่ผ่านการบดมาแล้ว และต้องการให้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม เช่น Disc attrition mill

เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาด(size reduction equipment)

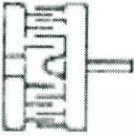



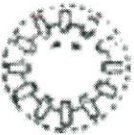


รูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพเครื่องลดขนาดต่างๆ[10]

รูปที่ 2.19 แสดงเครื่องมือที่ใช้ลดขนาดสำหรับอาหารที่เป็นของแข็ง และการใช้เครื่องเหล่านี้บางเครื่องในอุตสาหกรรมอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.9




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาด(size reduction equipment) [10]

Type of machine	Schematic diagram	Pulverizing mechanism	Peripheral velocity (m/s)	Product examples
Pinned-disc mill		Impact	80-160	Sugar, breaking of cocoa kernels, cocoa powder, starch, nutmeg, cloves emulsifiers for baking, mustard, roasted nuts, pepper
Blast mill		Impact	40-110	Sugar, breaking of cocoa kernels, cocoa powder, dry protein, granulated soup, gelatin, pectin, pepper
Wing-beater mill		Impact and shear	50-70	Algae, alginate, pepper, pectin, botanical drugs (to fine or coarse powder), oil press-cake, dried vegetables, paprika
Disc-beater mill		Impact and shear	70-90	Milk, powder, lactose, dry whey, plastic materials, common cereal grains
Hammer-cage mill		Impact	70-90	Ginger, alginate, root and bark drugs, tobacco leaves and stems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 (ต่อ) แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาด(size reduction equipment) [10]

Type of machine	Schematic diagram	Pulverizing mechanism	Peripheral velocity (m/s)	Product examples
Toothed-disc mill (vertical)		Rubbing and shear	4-8~17	Granulating krokant, frozen coffee extract, rose hip, breaking of sugar loaves, sugar cubes, plastic materials
Toothed-disc mill (horizontal)		Rubbing and shear	4-8~17	Degermination of corn, fishmeal production, spice extraction
Hammer mill		Impact	40-50	Sugar agglomerate, cocoa press cake, tapioca, manioc, dry vegetables, extracted bones
Ball mill		Impact		

ในที่นี้จะกล่าวแต่เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดของอาหารแห่งที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารดังต่อไปนี้

1. บอลล์มิลล์ (ball mill)

เครื่องบดชนิดนี้ประกอบด้วยทรงกระบอกเหล็กในแนวนอนที่หมุนอย่างช้าๆซึ่งครึ่งหนึ่งของทรงกระบอกบรรจุด้วยลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 – 15 cm เมื่อทรงกระบอกหมุนความเร็วต่ำหรือเมื่อใช้บอลล์ขนาดเล็กแรงเฉือนจะเด่น แต่ถ้าใช้บอลล์ขนาดใหญ่หรือหมุนด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสูงแรงอิมแพคจะเป็นแรงที่มีบทบาทในการบด เครื่องบดลัมมิลล์นี้อาจมีการปรับปรุงโดยการใช้แท่ง (rods) แทนการใช้บอลล์เพื่อแก้ปัญหาที่บอลล์มักเหนียวติดในอาหาร จึงเรียกเครื่องนี้ว่าโรดมิลล์ (rod mill)

2. ดิสก์มิลล์ (disc mills)

ดิสก์มิลล์นั้นมีการออกแบบหลายอย่าง แต่ละชนิดก็ใช้แรงเฉือนสำหรับการบดอนุภาคที่ละเอียด หรือแรงเฉือนร่วมกับแรงอิมแพคสำหรับการบดอนุภาคที่หยาบ เช่น

- เครื่องบดแบบดิสก์อันเดียว (single disc mill) โดยให้อาหารผ่านช่องว่างที่ปรับได้ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นที่อยู่หนึ่งกับดิสก์ที่เป็นร่องซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง
- เครื่องบดแบบดิสก์สองอัน (double disc mill) โดยให้อาหารผ่านช่องว่างที่ปรับได้ซึ่งอยู่ระหว่างดิสก์ 2 อัน ซึ่งต่างก็หมุนในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้เกิดแรงเฉือนมากขึ้น
- เครื่องบดแบบพินกับดิสก์ (pin-and-disc mill) จะมีพินหรือหมุดที่อินเตอร์เมส (Intermesh) กันโดยติดอยู่กับดิสก์ทั้งในส่วนของดิสก์อันเดียวกับแผ่นที่ยึดหรือที่ติดกับดิสก์ชนิด 2 อัน

เครื่องบดเหล่านี้ออกแบบมาเพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการบดโดยทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงอิมแพคมากขึ้น

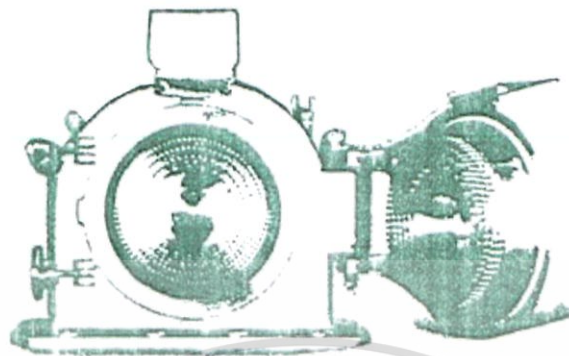
3. แฮมเมอร์ มิลล์ (Hammer mill)

เครื่องบดนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ประกอบด้วยห้องทรงกระบอกในแนวนอนซึ่งต่อกับแผ่นเหล็กที่ทำให้แตก โรเตอร์ (rotor) ซึ่งมีความเร็วสูงภายในห้องนี้จะต่อกับช่องที่ติดอยู่ตามแนวความยาว เครื่องบดชนิดนี้มักใช้ลดขนาดของอาหารที่มีขนาดปากกลางให้มีขนาดเล็กหรือละเอียด ฟัดจะป้อนเข้าสู่เครื่องที่ด้านบนและอนุภาคถูกทำให้แตก เคลื่อนตกผ่านทรงกระบอก ในระหว่างการเดินเครื่องบดชนิดนี้ อาหารที่ถูกลดขนาดส่วนใหญ่ได้รับแรงอิมแพคที่ขณะที่ชนเคลื่อนต้านกับแผ่นที่ทำให้แตก ในเครื่องบดบางแบบพบว่า ทางออกจากเครื่องบดมีตะแกรงที่มีช่องเปิดค่าหนึ่งๆทำให้อาหารยังคงอยู่ในเครื่องบดจนกว่าอนุภาคผ่านการบดจนมีขนาดเล็กพอที่จะผ่านรูเปิดของตะแกรงภายใต้สภาวะเช่นนี้ แรงเฉือนจะมีบทบาทสำคัญในการลดขนาด

4. โรลเลอร์ มิลล์ (roller mills)

โรลเลอร์หรือลูกกลิ้งเหล็ก 2 ตัวหรือมากกว่า จะหมุนเข้าหากันแล้วดึงให้อนุภาคของอาหารผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง แรงที่กระทำส่วนใหญ่เป็นแรงอัด (compression) แต่ถ้าลูกกลิ้งหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน หรือถ้าลูกกลิ้งเป็นร่องก็จะมีแรงเฉือนมากกระทำต่ออาหารเพิ่มขึ้น ขนาดของ

ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งมักจะปรับให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด และจะมีสปริงโอเวอร์โหลดที่ป้องกันการเสียดสีจากเหล็กหรือหินที่เป็นลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างเครื่องบด (a)เครื่องบดแบบพินกับดิสก์ (b)แฮมเมอร์มิลล์ (c) โรลเลอร์มิลล์

[10]

2.2.5 อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม (PNEUMATIC VIBRATOR, AIR VIBRATOR)[11]

อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ก่อให้เกิดการสั่นในตำแหน่งที่ติดตั้งโดยใช้ลม ในลักษณะเดียวกับอุปกรณ์นิวมาติก

ข้อดีของอุปกรณ์สั่นระบบลม

- มีประสิทธิภาพสูง แรงที่ได้เทียบกับพลังงานที่ใส่เข้าไป
- โครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมทำให้ทำความสะอาดง่ายและทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี
- ใช้ลมน้อย แรงสั่นและความถี่สามารถปรับได้จากแรงลมที่ป้อนเข้าไป
- โครงสร้างแข็งแรง การบำรุงรักษาต่ำ
- มีรุ่นให้เลือกใช้มาก
- ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ รองรับ ATEX STANDARD คือใช้ได้กับพื้นที่ที่ง่ายต่อการระเบิด

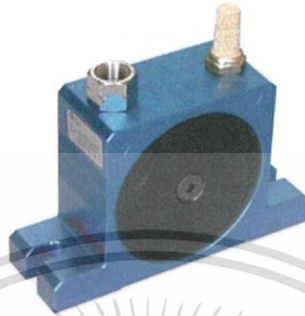
มีหลายรุ่นซึ่งเหมาะกับการใช้งานในแต่ละอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม

ชนิดโรตารี ROTARY TYPE - การสั่นจากการหมุนที่มีแรงหนีศูนย์กลางไม่สมดุล

1. PNEUMATIC BALL VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนของลูกบอลเหล็กทรงกลม แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 13-405 kgs ที่ความถี่ 25500-10000 VPM



รูปที่ 2.21 แสดง PNEUMATIC BALL VIBRATOR [11]

2. PNEUMATIC ROLLER VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนเหวี่ยงของลูกเหล็กทรงกระบอก แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 107-1250kgs ที่ความถี่ 25000-12500 VPM



รูปที่ 2.22 แสดง PNEUMATIC ROLLER VIBRATOR [11]

3. PNEUMATIC TURBINE VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนของเฟือง เทอร์ไบน์ที่มีน้ำหนักไม่สมดุล แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 13-1200 kgs ที่ความถี่ 14000-6300 VPM



รูปที่ 2.23 แสดง PNEUMATIC TURBINE VIBRATOR [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแนวเส้นตรง LINEAR TYPE – การสั่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบ

1.PNEUMATIC PISTON VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบ แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 3-100 kgs ที่ความถี่ 2400-9300 VPM



รูปที่ 2.24 แสดง PNEUMATIC PISTON VIBRATOR[11]

2.PNEUMATIC PISTON VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบเช่นเดียวกับรุ่น FP แต่แรงจะได้อีกมากกว่า ถือว่าเป็นรุ่น HEAVY DUTY แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 27-200 kgs ที่ความถี่ 2500-6000VPM



รูปที่ 2.25 แสดง PNEUMATIC PISTON VIBRATOR รุ่น HEAVY DUTY[11]

ชนิดเคาะหรือทุบ DIRECT IMPACT TYPE – เป็นแรงกระทำที่เกิดจากลูกสูบกระแทกโดยตรงที่ผนัง

1.PNEUMATIC KNOCKER VIBRATOR เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงกระแทกโดยตรงกับผนังไซโล แต่ไม่ทำให้ผนังเสียหาย แรงที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 7-415 Nm/ครั้ง เช่น SK30, 40, 60, 80, 100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.26 แสดง PNEUMATIC KNOCKER VIBRATOR[11] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกรุ่นอุปกรณ์สั่นสะเทือน (VIBRATOR TYPE SELECTION)

อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม PNEUMATIC VIBRATOR เหมาะกับงานเบาจนถึงงานปานกลาง อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบไฟฟ้า MOTOR VIBRATOR เหมาะกับงานเบาจนถึงงานหนักมาก การเลือกรุ่นอุปกรณ์สั่นสะเทือนมีปัจจัยที่ต้องทราบซึ่งใช้ได้กับทั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม PNEUMATIC VIBRATOR และอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบไฟฟ้า ELECTRIC VIBRATOR (MOTOR VIBRATOR) ดังนี้

-จุดประสงค์ของการสั่นหรือเขย่า เพื่อต้องการให้เคลื่อนที่หรือไหลออกจากถังไซโลหรือเพื่อการร่อน คัดแยก

-น้ำหนักของของที่ต้องการสั่นเขย่า

-ขนาดของของ เช่น ทรายหยาบละเอียด หินก้อนเล็กใหญ่ ดิน แปะ

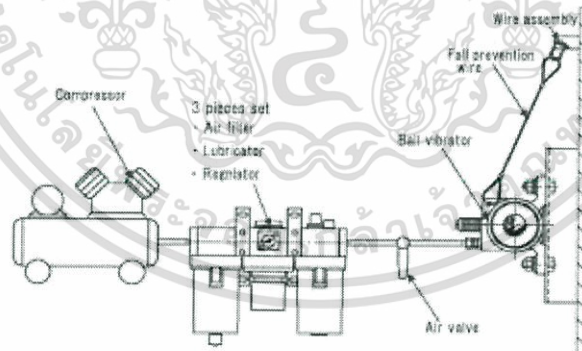
-ความชื้น

-ความหนาและพื้นที่ของผนังภาชนะ

-สภาวะแวดล้อม

-ข้อห้ามเรื่องการเกิดประกายไฟ

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ใช้ในการเลือกรุ่นอุปกรณ์สั่นสะเทือนนี้เป็นเพียงไกด์ไลน์เพื่อให้เข้าถึงรุ่นที่น่าจะเหมาะสมเท่านั้นลักษณะการวางการติดตั้งและลักษณะเฉพาะตัวของของที่จะทำการสั่นเขย่าก็มีส่วนสำคัญไม่น้อย การติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม



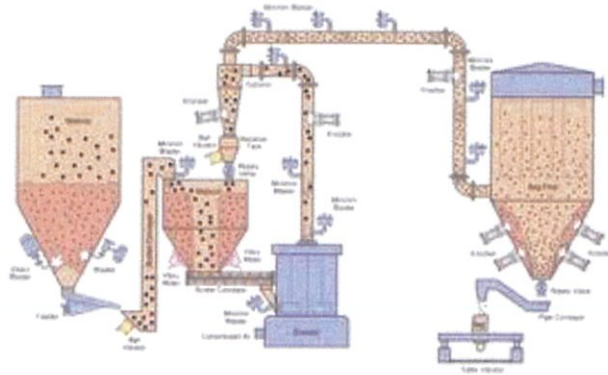
รูปที่ 2.27 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม[11]

ตัวอย่างของการใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือน

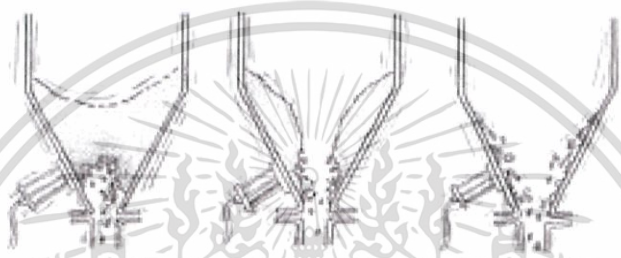
อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบลม PNEUMATIC VIBRATOR เหมาะกับงานเบาจนถึงงานปานกลาง

อุปกรณ์สั่นสะเทือนระบบไฟฟ้า MOTOR VIBRATOR เหมาะกับงานเบาจนถึงงานหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ขนส่งเทือนระบบลม[11]



รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ขนส่งเทือนระบบลม แบบ AIR KNOCKER [11]

ข้อดีของอุปกรณ์ขนส่งเทือนระบบลม PNEUMATIC VIBRATOR

- มีตั้งแต่ขนาดเล็กกว่ากล่องไม้ขีดจนถึงขนาดใหญ่สำหรับปากถังไซโล
- ใช้กับสถานที่ที่ต้องการความปลอดภัยจากไฟฟ้า explosion proof
- ปรับแรงและรอบการสั่นได้ง่าย
- มีน้ำหนักเบา
- การซ่อมบำรุงต่ำ

ข้อดีของอุปกรณ์ขนส่งเทือนระบบไฟฟ้า MOTOR VIBRATOR มอเตอร์สั่น มอเตอร์เขย่า

- ติดตั้งสะดวก ใ้ใช้ได้ทุกที่มีไฟฟ้า
- มีประสิทธิภาพสูงต่อพลังงานที่ใส่เข้าไป
- สามารถปรับการติดตั้งให้เป็นลักษณะการโยกในแนวเส้นตรงหรือโยกแบบส่ายได้
- การซ่อมบำรุงต่ำ

2.2.6 Sieve analysis[12]

การวิเคราะห์ขนาด ทำได้ 2 วิธี คือ

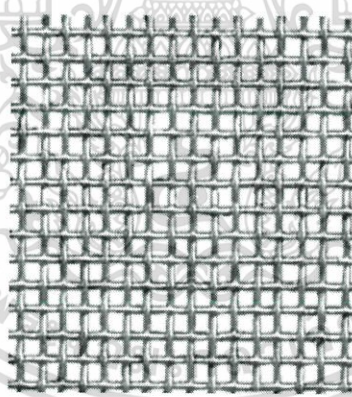
- แบบแห้ง (dry)
- แบบใช้น้ำช่วย (wet) ซึ่งจะเติมน้ำลงไปเพื่อช่วยให้ของแข็งที่มีขนาดเล็กลอดผ่านช่องตะแกรงได้ดีกว่าแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งที่มีขนาดใหญ่เกินขนาด (oversize) จะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนของแข็งที่เล็กเกินขนาด (undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงไปได้ การใช้เครื่องมือช่วยให้ตะแกรงเคลื่อนไหวหรือสั่น (sieve shaker) จะช่วยให้การร่อนมีประสิทธิภาพดีขึ้น และในเวลาที่น่า้อยลง แต่จะต้องไม่ใช่ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เพราะจะทำให้ของแข็งไปอุดตามช่อง หรืออาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์และของแข็งรวมตัวเป็นก้อนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดไปและความชื้นในของแข็งต้องทำให้มีน้อยที่สุด

Sieve analysis คือ วิธีการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของแข็งหรือความละเอียด (fineness) โดยการร่อนผ่านของแข็งที่ทราบน้ำหนักไปบนชุดตะแกรงทดสอบ (test sieves) ซึ่งมีช่องขนาดต่างๆ กัน โดยจัดเรียงตะแกรงตามลำดับช่องที่ต้องการ ตะแกรงเหล่านี้อาจติดอยู่กับที่หรือเคลื่อนไหวได้

ช่องบนตะแกรง (sieve) เกิดจากการนำลวดขนาดต่าง กันมาสานเป็นช่อง และบอกความกว้างของช่องตะแกรงเป็นเมช (mesh) ซึ่งหมายถึงจำนวนช่องของตะแกรงที่มีอยู่ในความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงขนาด 10 เมช ในความยาว 1 นิ้ว จะมีช่องอยู่ 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความยาวกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ดังนั้น เมชขนาดเดียวกัน อาจแตกต่างกัน ถ้าทำจากเส้นลวดที่ต่างกันจึงต้องบอกขนาดช่องหรือ aperture size ควบคู่กับขนาดเมชของตะแกรงด้วย



รูปที่ 2.30 แสดงช่องของตะแกรง[12]

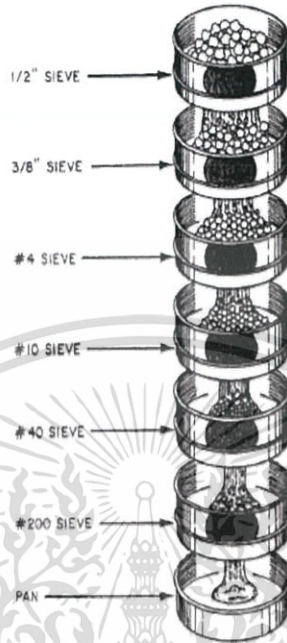
ตะแกรงมาตรฐานที่นิยมใช้ได้แก่

- ตะแกรงแบบอังกฤษ (British standard)
- ตะแกรงแบบไทเลอร์ (Tyler standard)
- ตะแกรงแบบอเมริกัน (ASTM)

โดยในเมชเบอร์เดียวกันของตะแกรงมาตรฐานแต่ละแบบอาจจะมีขนาดของช่อง (aperture size) ที่ต่างกันก็ได้ ตัวอย่างเช่น ตะแกรงขนาดเมช 100 แบบไทเลอร์มีขนาดช่อง 0.147 มิลลิเมตร

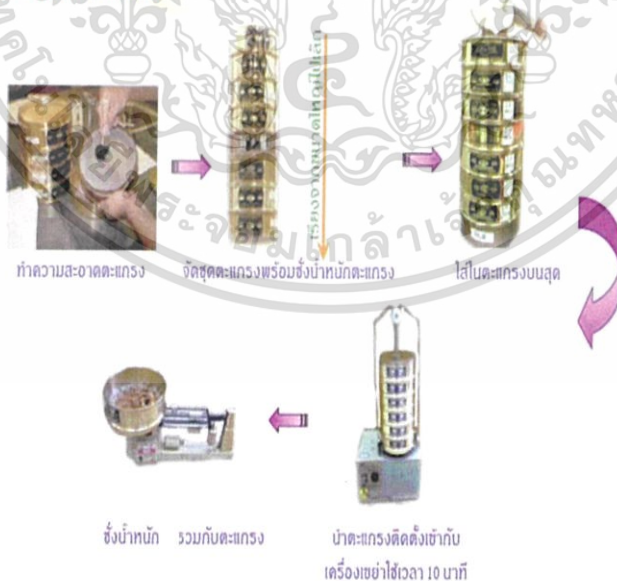
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอังกฤษมีขนาดช่อง 0.152 มิลลิเมตร และแบบอเมริกันมีขนาดช่อง 0.149 มิลลิเมตร ดังนั้นใน
 ตะแกรงมาตรฐานทุกแบบจะต้องแสดงรายละเอียด ทั้งขนาดเมช และขนาดช่องในแผ่นป้ายด้านข้าง
 ตะแกรง



รูปที่ 2.31 แสดงแผนภาพกระบวนการ Sieve analysis[12]

ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 2.32 แสดงขั้นตอนการทดสอบด้วยกระบวนการ Sieve analysis[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การขนถ่ายด้วยลม[13]

ในงานอุตสาหกรรมปัจจุบันระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมหรือนิวเมติกคอนเวเยอร์จะเข้าไปมีบทบาทในการทำงานอยู่มาก ดังนั้นในสถานศึกษาต่าง ๆ ที่ผลิตช่างเทคนิค และวิศวกรเกี่ยวกับการขนถ่ายวัสดุจึงได้จัดให้มีวิชาดังกล่าวไว้ในหลักสูตร ในการศึกษาวิชานี้ นักศึกษาส่วนใหญ่จะประสบปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบที่ถูกต้องเพื่อให้ สอดคล้องกับทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาเนื่องจากค่าต่าง ๆ ที่อ้างอิงอยู่ในตำราที่ศึกษาจะมีความผิดพลาดอยู่มาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาโรงงานแบบมาสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบค่าการทดลองเพื่อเอาไปประกอบในการคำนวณ ออกแบบที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงควรศึกษาให้เข้าใจอย่างมาก

วัสดุหลายชนิดที่จะนำมาขนถ่ายส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่เป็นผง หรือวัสดุที่เป็นก้อน ในรูปที่ 2.33 เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ทำสำเร็จ โดยใช้ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม เครื่องเขย่าขนาด 70 มม.ที่ลำเลียงไถ่และ ปลายที่ผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งจะลมช่วยในการขนถ่าย ปกติชิ้นส่วนขนาดใหญ่ ๆ และหนามาก ๆ จะถูกขนถ่าย ด้วยลมที่มีความเร็วสูงมาก ๆ และพลังงานที่ใหญ่มหาศาล จึงเป็นที่ต้องการของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมซึ่งมี การไหลอย่างอิสระไม่เสียดสีให้เกิดรอยหรือเป็นเส้น นั่นเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขนถ่ายวัสดุด้วยลม การพัฒนาการขนถ่ายวัสดุด้วยลม โดยใช้ อัตราความเร็วลมต่ำนั้นได้ประสบความสำเร็จในการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน แต่วัสดุจะถูกขีดได้ง่าย โดยวัสดุจะเป็นเส้น ๆ

	ระดับความเหมาะสม			
	ไม่ดี	พอใช้	ดี	ดีมาก
ค่าใช้จ่ายเงินลงทุนของการติดตั้ง				
ค่าใช้จ่ายการทำงาน				
ระยะทางความต้องการของระบบ				
ความง่ายของการติดตั้ง				
ความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนแปลงในอนาคต				
ความเหมาะสมสำหรับระบบอัตโนมัติ				
การบำรุงรักษา				
ความปลอดภัย				
ความสะอาด				
การขนวัสดุที่มีพิษ				
ระยะทางการขนถ่าย				
ประสิทธิภาพในการขนถ่าย				
ขอบเขตของวัสดุที่จะขนถ่าย				
ความทนทาน				


 ระบบนิวเมติกคอนเวเยอร์
 ระบบอื่น

รูปที่ 2.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการขนถ่ายวัสดุด้วยลม กับการขนถ่ายวัสดุด้วย

เครื่องจักรกลขนถ่าย[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม

การขนถ่ายวัสดุด้วยลมแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบ ซึ่งการแบ่งแยกประเภทต่าง ๆ นั้น จะต้องดูความเหมาะสม ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในห้อง ดังนั้นการทำงานของการทำงานของการขนถ่ายวัสดุด้วยลมจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ระบบการไหลแบบเบาบาง (Dilute Phase)
2. ระบบการไหลแบบหนาแน่น (Dense Phase)

ตามคำแนะนำในแต่ละ Phase ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นเทอมของ อัตราส่วนการไหลของมวล (\dot{m}) ซึ่งอัตราส่วนของมวลการไหล ของมวลของแข็ง (m_m) อัตราการไหลของอากาศในห้องขนถ่าย (m_f) สูตรคำนวณ

$$\dot{m} = \frac{m_m}{m_f} \quad (2.12)$$

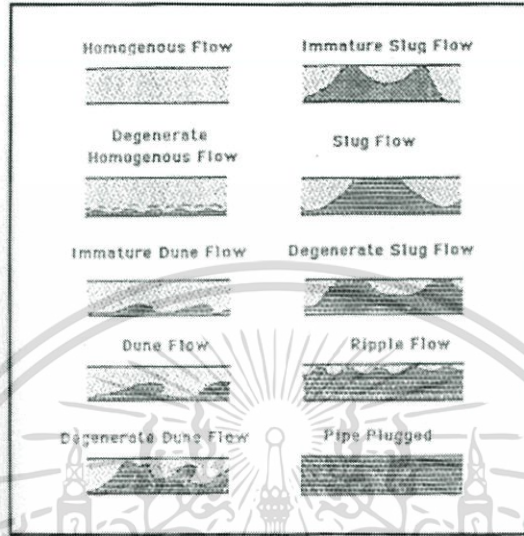
กฎการไหลแบบเบาบาง $0 < \dot{m} < 15$ และสำหรับการไหลแบบหนาแน่น $\dot{m} > 15$ แผนการออกแบบรูปแบบการไหลตามแนวระดับ ซึ่งรูปแบบต่าง ๆ จะแสดงในรูปที่ 2.34 ระบบการขนถ่ายที่เบาบาง วัสดุจะลอยตัวอยู่เต็ม ท่อและระบบการไหลแบบหนาแน่นซึ่งจะไม่ใช้การไหลแบบเบาบาง (Dilute Phase) การไหลแบบหนาแน่นมีข้อจำกัดให้มีการไหลแบบเต็มท่อ

ระบบการไหลแบบเบาบาง โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณลมมากและต้องใช้ความเร็วสูง ลมจะดึงเอาวัสดุโดยวิธี การยกและด้วยแรงดึงออกโดยใช้ความดันลม (ดูรูปที่ 2.34) ระบบการไหลแบบเบาบางนั้นใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม

การลดความเร็วให้ต่ำกว่าค่าวิกฤตที่จำเป็นนั้นเพื่อจะรักษาวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ที่กระจัดกระจายไว้ในรูปแบบของแข็ง เมื่อตัดต่อทางการขนถ่ายความเร็วลมวิกฤตจะถูกกำหนดด้วยความเร็ว Saltation สำหรับการขนถ่ายในแนวระดับ และ Chocking สำหรับการขนถ่ายในแนวตั้ง ความเร็วลมที่ผิวหน้าจะถูกทำให้ต่ำกว่าความเร็ว Saltation ในแนวระดับของท่อการขนถ่ายที่เกิดขึ้นกับสัดส่วนอย่างต่ำของการไหลของวัสดุที่แข็ง ซึ่งจะไหลผ่านส่วนบนของท่อทางเมื่อตัด Section ออกมาจะไหลได้เต็มในส่วนที่เหลือของท่อ ณ ที่นี้ การไหลจะไม่คงตัวเนื่องจาก ธรรมชาติการไหลไม่ราบเรียบของการไหล 23 ชนิด บางครั้งบางจุดในท่อทางจะมีวัสดุอยู่เต็มและในบางครั้งบางส่วนเต็มท่อ บางส่วนไม่เต็มท่อ การขนถ่ายภายใต้กรณีดังกล่าวสามารถที่จะทำให้โครงสร้างของท่อเกิดการเสียหาย และทำให้เกิดเสียงดังจากการขนถ่ายสำหรับสภาวะดังกล่าว รูปแบบของการไหลเป็นดังรูป 2.34 การไหลของวัสดุที่เป็นคลื่นจะเป็นการไหลที่ไม่ดี

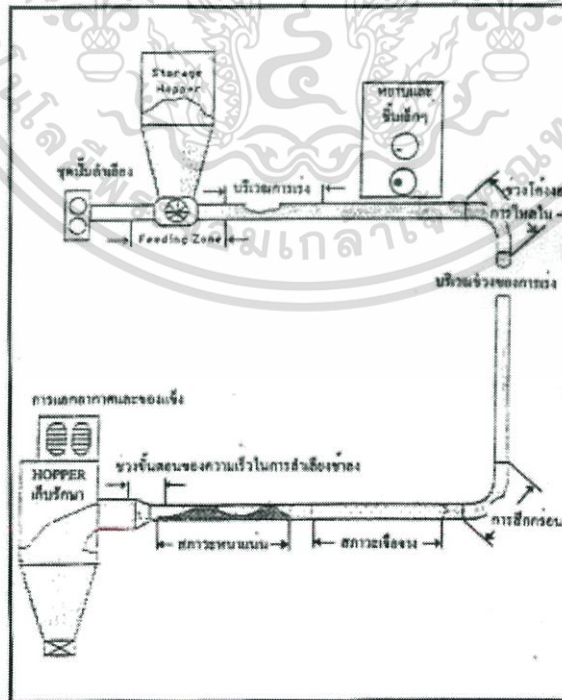
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการไหลแบบหนาแน่น สามารถที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของการไหลที่ไม่คงที่ไปหาในทิศทางที่คงที่และไหลอย่างช้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันลม ลักษณะของวัสดุและอัตราการไหล ความเสียดทานของท่อและเส้นผ่าศูนย์กลางท่อรูปแบบของการขนถ่ายวัสดุแบบ Dense Phase ซึ่งแตกต่างกับเงื่อนไข



รูปที่ 2.34 แสดงรูปแบบการไหลในท่อแบบแนวนอน[13]

การจัดให้อยู่ด้วยกัน



รูปที่ 2.35 แสดงระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม[13]

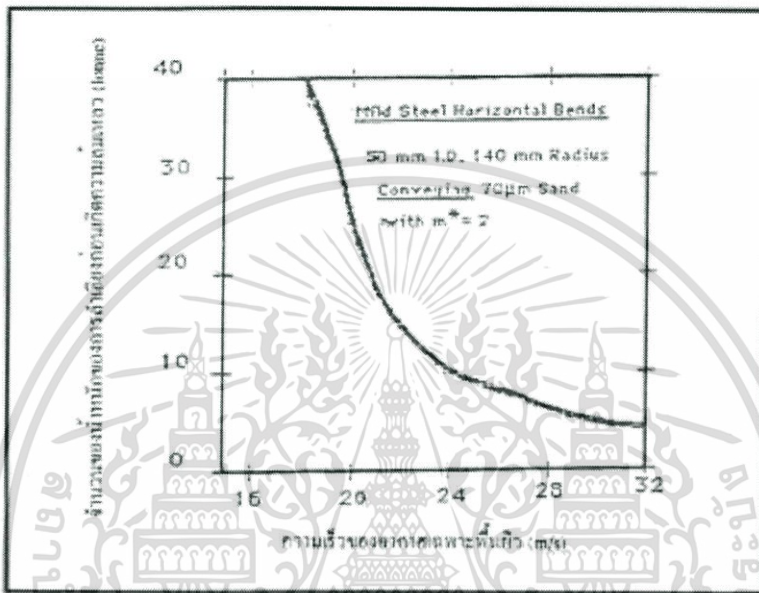
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.35 เป็นการแสดงระบบการทำงานด้วยลมที่รวมความสำคัญของส่วนประกอบไว้เพื่อการขนถ่ายวัสดุที่เป็นของแข็งจากจุดที่ป้อนวัสดุไปยังส่วนที่แยกลมและของแข็งออกจากกัน วัสดุที่เป็นของแข็งจะถูกเก็บไว้ในที่ส่วนบนเหนืออุปกรณ์การจ่ายวัสดุ อณูของของอากาศจะไหลขึ้นข้างบนเป็นตัวเคลื่อนที่ ๆ สำคัญ ที่จะสามารถ ขนถ่ายลมตามความต้องการของอัตราการไหลและแรงดันของวัสดุที่เป็นของแข็งซึ่งเก็บไว้ในhopper ที่ใกล้กับแรงดันลม ซึ่งมีความสำคัญเมื่อลมไหลมาถึงท่อที่มีความยาวเพียงพอที่จะรับประกันได้ว่าจะถูกเร่งจากลมที่เหลือ ที่จุดเร่งนี้เองมีความดันที่สูญเสียไปและความสูญเสียของระบบความดันทั้งหมดไปนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายๆ สาเหตุและจากการกระตุ่นหรือเร่งให้ความดันที่สูญเสียไปนั้นจะมีความดันที่เสียไป ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการขนถ่ายด้วยลมเพียงอย่างเดียว ความดันลมบางส่วนมีผลกระทบต่อกันผลกระทบวัสดุที่มีต่อผนังท่อและบางส่วนก็จะชนกับท่อ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งและจะมีผลกระทบต่อแรงดันที่สูญเสียไป คือ ขนาด พลังงานไฟฟ้า แรงดันที่รวมกับความชื้นและอื่น ๆ ตามทฤษฎีบวกกับการพยากรณ์ของการขนถ่ายวัสดุ ด้วยความดันลมสูญเสียไปเนื่องจากการไหลในส่วนที่ผิวท่อไม่เรียบ ซึ่งจะไม่สามารถใช้กับแปรง ฟันที่ละเอียดได้ ส่วนใหญ่การตั้งท่อที่สังเกตไว้จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบในส่วนที่มีความหยาบ สำหรับแปรงมันจะถูกตั้งความหวังว่าส่วนที่ละเอียดจะมีผลต่อการไหลของลมต่อวัสดุที่เป็นของแข็งจะเกิดปัญหาต่อการไหลของวัสดุของการไหลของความดันลม และวัสดุที่เป็นของแข็งที่มีผลต่อการลดลงระหว่างการขนถ่ายด้วยลมกับแปรง ซึ่งมีผลกระทบต่อแรงดันต่ำที่สูญเสียไปมีค่าจำกัดความที่ไม่ง่ายที่จะอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างส่วนหยาบกับส่วนที่ละเอียด ความชัดเจนที่จะเห็นได้ก็คือ ความซับซ้อนของส่วนที่ละเอียดที่ส่งผ่านไป ในท่อที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กซึ่งมันจะสามารถปฏิบัติกับส่วนที่หยาบได้โดยไม่มีกฎเกณฑ์และมีขนาดเฉลี่ยโดยประมาณ 350 m ที่ใช้เป็นตัวตัดสินใจให้เห็นอย่างเด่นชัดระหว่างส่วนที่หยาบกับส่วนที่ละเอียด การสึกกร่อนจะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนถ่ายวัสดุด้วยลม อัตราการสึกหรอจะขึ้น อยู่กับความเร็วของลมและการขีดข่วน หรือการสึกหรอทางธรรมชาติของวัสดุ ขอบเขตของการสึกกร่อนนั้นคือ ส่วนโค้งของท่อซึ่งมีผลกระทบอย่างมากในชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ การสึกหรอของท่อที่มีผลต่อความดันลมแต่สาเหตุที่เด่นชัดที่มีให้เกิดอาการลึกลับใจในการติดตั้งระบบขนถ่ายวัสดุ

การสึกกร่อนต่อระบบท่อในโรงงานปิโตรเคมี ประกอบกับปัญหาหลัก ๆ ในการออกแบบและทำงานของอุปกรณ์เคมีและเป็นจุดสำคัญของการล้มเลิกในโรงงานเล็ก ๆ การสึกกร่อนก็เป็นปัญหาใหญ่ในการขนถ่ายถ่ายหินด้วยลมและการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการต้ม

ส่วนของการสึกหรอของท่อแบบแนวตรงไม่ควรจะเป็นปัญหา แต่อย่างไรก็ตามถ้าท่อเกิดมีผิวที่ผิดปกติ ต่อจากนั้นการสึกกร่อนอาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ ขอบเขตของการสึกกร่อนส่วนใหญ่เกิดภายในข้อต่อท่อเช่นส่วนโค้งของลิ้นเปิดปิดและส่วนของท่อ การแสดงของความเป็นไปได้ของการสึกกร่อน แต่แตกต่างกันในความแข็งของวัสดุที่ถูกขนถ่ายกับท่อของวัสดุและอัตราความเร็วของการขนถ่ายของวัสดุที่เป็นของแข็ง การสึกกร่อนนั้นเป็นส่วนสำคัญของความเร็วขั้นที่สูงสุด ชั้นที่ N ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 35 N 4.5 ในรูปที่ 2.36 แสดงถึงอิทธิพลที่มีผลกระทบต่ออัตราของความเร็วในการสึกกร่อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของท่อส่วนที่โค้งซึ่งเป็นไปได้ที่จะเกิดอัตราการสึกหรอกับวัสดุที่สึกกร่อนถ้าความเร็วสูงๆ การสึกกร่อนก็จะสามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบการไหลแบบหนา (Dense Phase) อย่างถูกต้องและมีศักยภาพในการแก้ปัญหา สำหรับการไหลแบบเบาบาง (Lean Phase) ระบบการขนถ่ายวัสดุที่แข็ง ๆ จบสั้นลงที่บริเวณจุดแยกลมกับวัสดุ ส่วนต่าง ๆ มีขนาดเล็กจะถูกแยกออกตกที่เป็นลมโดยวิธีการใช้ความกดอากาศต่ำหรือการใช้ผ้ากรอง การแยกของแข็งจะถูกเก็บไว้ใน Bunker ซึ่งตั้งอยู่ใต้บริเวณจุดแยกลมและของแข็งออกจากกัน



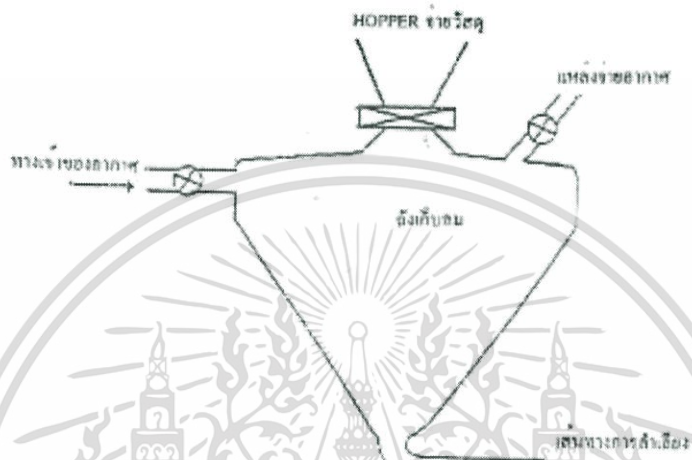
รูปที่ 2.36 แสดงอิทธิพลของความเร็วที่มีผลต่อส่วนบ่อนกันการกัดกร่อนของท่อโค้ง[13]

ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง (Innovatory)

โดยหลักการของระบบความดันสูงจะมีความสามารถที่จะขนถ่ายวัสดุในระบบการไหลแบบหนาแน่น (Dense Phase) โดยเหตุที่วัสดุหลาย ๆ ชนิดที่มีลักษณะร่วนหรือมีคมไม่สามารถที่จะขนถ่ายใส่ความเร็วที่ต่ำได้ การอันของวัสดุภายในท่อจะแสดงถึงปัญหาใหญ่ ๆ ที่เกิดขึ้นกับวัสดุบางชนิด ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องหยุดหรือเริ่มต้นการทำงานใหม่ในขณะที่ทำการขนถ่ายและมันจะเป็นไปไม่ได้ สำหรับระบบความเร็วต่ำ ซึ่งได้นำมาพัฒนาระบบแล้ว

สำหรับระบบอัดความดันเดี่ยว ปริมาณของวัสดุจะถูกบรรจุเข้าไปเก็บไว้ในถัง Blow Tank จะถูกอัดความดันจากส่วนบนและวัสดุจะไหลออกจากทางด้านล่าง ดังรูปที่ 2.37 มันเป็นธรรมดาที่ปริมาตรของ Blow tank จะต้องน้อยกว่าปริมาตรของท่อทางและใช้ความดันทำงานที่ 600 kPa วัสดุที่ไหลออกมาจะมีลักษณะเป็นแท่งนั้นเรียกว่า Plug มันจะถูกดันให้ไหลผ่านท่อทางออกมา ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับลูกสูบและจะมีความยาวปกติคือ 15 ถึง 20 เมตร ดังนั้นถ้าท่อมีขนาดยาว 100 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ดังนั้นขนาดของ Blow tank ที่ต้องการคือ 0.16 ลูกบาศก์เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร สำหรับวัสดุที่มีความหนาแน่น 1400 kg/m^3 ใช้วัสดุประมาณ 220 kg สามารถที่จะขนถ่ายภายใน 1 cycle ชั้นตอนของ cycle จะแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งจะขนถ่ายวัสดุในเวลา 15 วินาที ด้วยระยะทาง 100 เมตร ไปในท่อทางซึ่งจะมีความเร็วคงที่ $= 4 \text{ m/s}$ และสำหรับ Plug ที่มีความยาว 20 เมตร จะใช้เวลาในการขนถ่าย 5 วินาที และ 5 วินาที สำหรับงานของ Valve ของ Blow Tank ใช้เวลา 5 วินาที สำหรับการสร้างความดันใน Blow Tank และใช้เวลา 8 วินาทีสำหรับการขนถ่ายวัสดุ จึงมีเวลารวมทั้งสิ้น 53 วินาที ดังนั้นจึงมีมวลการขนถ่ายเฉลี่ย 15 t/h



รูปที่ 2.37 แสดงระบบ Blow Tank ที่มีการไหลแบบ Plug flow เดียว[13]

ความสามารถของระบบ

ความสามารถของระบบ Pneumatic Conveyor จะประสบความสำเร็จ ถ้าให้อัตราการไหลเป็นแบบ Mass flow ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทาง
2. ระยะทางการขนถ่ายวัสดุ
3. แรงดันตกที่เกิดขึ้นภายในท่อทาง

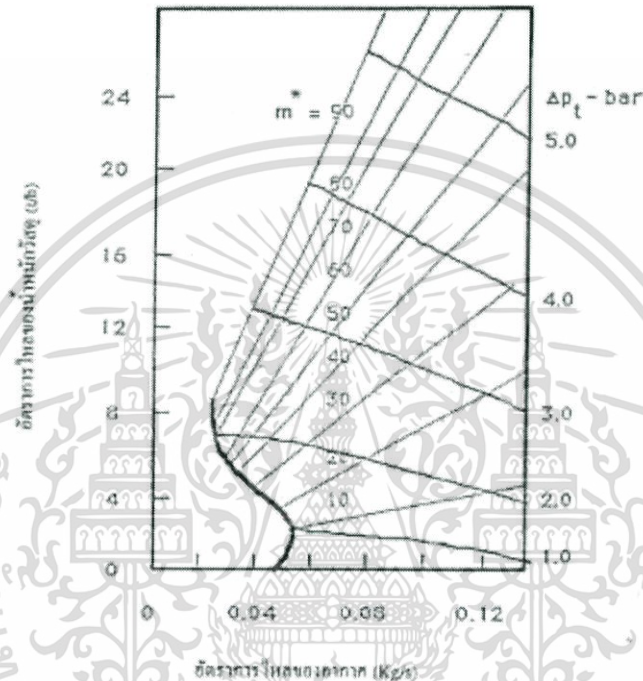
สมบัติของวัสดุสำหรับอัตราการไหลคือ ขีดจำกัดด้านบนที่ถูกติดตั้งในการไหลของของแข็งแบบ หนาแน่น (M^*) ที่ซึ่งวัสดุสามารถขนถ่ายด้วยระบบทางการขนถ่ายเฉพาะอย่าง อัตราการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับขนาดของท่อทาง ความยาวและแรงดันใช้งานและมันเป็นค่า Parameter ที่สำคัญ และเป็นสภาพการขนถ่ายนอกระบบอย่างเช่น ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนกับแรงดันความเร็ว ของอากาศ VP หรือปริมาณการไหลจะถูกเปลี่ยนตลอดความยาวของท่อ ตัวอย่างเช่น V_f จะถูก จำย C ครั้ง ตลอดความยาวของท่อในระบบความดัน ซึ่งมีความดันตกคร่อม 100 Pa หรือระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญญากาศมีแรงดันตกคร่อม 50 kPa ดังเช่น m_f เป็นค่าคงที่ที่ความแตกต่างของ Section ของท่อ ซึ่ง เป็นคุณสมบัติการไหลที่ใช้ประโยชน์ได้มากเทียบเคียงได้กับค่าParameter ตัวอื่น

อิทธิพลของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อความสามารถในการขนถ่ายวัสดุที่เป็นของแข็ง สามารถ ใช้จากการวิเคราะห์สมการ 2.12 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$m_m = \dot{m} \times m_f \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.38 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลและความหนาแน่นและความดันสถิตในเส้นทางการขนถ่าย [13]

ปริมาณมวลของอากาศสามารถแสดงเป็น Function ของความหนาแน่นของอากาศ (ρ) พื้นที่ท่อ M มีค่าเท่ากับ $[D^2/4]$ ขณะที่ D ก็คือเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของท่อ และ V_f คือ การรักษาของมวลตลอดท่อทางที่ต้องการ

$$m_f = \left[\frac{(\rho \cdot V_f \cdot \pi D^2)}{4} \right] \quad (2.14)$$

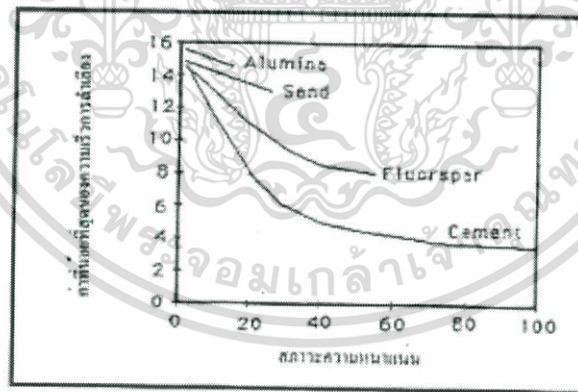
ความสามารถในการไหลผ่านของระบบการขนส่งสามารถเพิ่มขึ้น โดยการขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ อากาศที่ถูกเพิ่มจะเป็นสัดส่วนตามค่าคงที่

ลักษณะของความหนาแน่นของวัสดุที่จะสามารถขนถ่ายได้นั้น ขึ้นอยู่กับทั้งความดันตกคร่อมที่ใช้ไปในเส้นทางและระยะทางในการขนถ่าย ถ้า Fix ค่าแรงดันตกคร่อมในส่วนของอากาศที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการขนถ่ายวัสดุผ่านท่อทางคืออากาศที่หลีกเลี่ยงการผ่านของความต้านทานของท่อทางในรูปแบบที่ 2.38 คือ ผลรวมของลักษณะของการขนถ่ายเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง m_f และ m_m (สำหรับค่าคงที่ของความดันตกคร่อมของระบบ p_c) สำหรับการขนถ่าย Cement ผ่านความยาว 100 เมตร ท่อในแนวระดับมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตรกับท่อโค้ง 17 อัน (90 องศา) อัตราการไหลของมวลอากาศจะแสดงอยู่ในแกนนอน เพราะว่า ปริมาตรการไหลของมวลอากาศจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ ตัวเลือก Parameter บน แกนนอน และ แกนตั้ง จะยอมให้เป็นเส้นค่าคงที่ของ Phase Density ดังแสดงในรูป 2.38 เส้นบนด้านล่างซ้ายของรูปที่ 2.38 เป็นตัววัดอัตราการไหลของอากาศในการขนถ่ายที่เป็นไปได้ต่ำสุดที่อัตราการไหลที่ด้านซ้ายของเส้นนี้ท่อจะถูกคาดว่าจะเป็นหรือการขนถ่ายนั้นจะไม่ราบเรียบหรือมีเสียงเส้นนี้จะแสดงถึงค่าการขนถ่ายต่ำสุดและเป็นไปได้จะใช้สมการ

$$m_f = \left[\frac{(p \cdot V_p \cdot \pi D^2)}{4} \right] \quad (15)$$

เพื่อคำนวณความเร็วของอากาศที่ความแตกต่าง ความหนาแน่นของ Phase ที่จุดหรือเขตของความสำคัญในการขนถ่ายจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการขนถ่ายต่ำสุด และความหนาแน่นของ Phase สำหรับ Cement และวัสดุชนิดอื่น จะถูกแสดงใน รูปที่ 2.39 Cement และ Braytes สามารถจะถูกขนถ่ายในระบบ Lean และ Dense Phase ในกรณีของ Alumina และทราย จะขนถ่ายในระบบ Lean Phase เท่านั้นที่เป็นไปได้



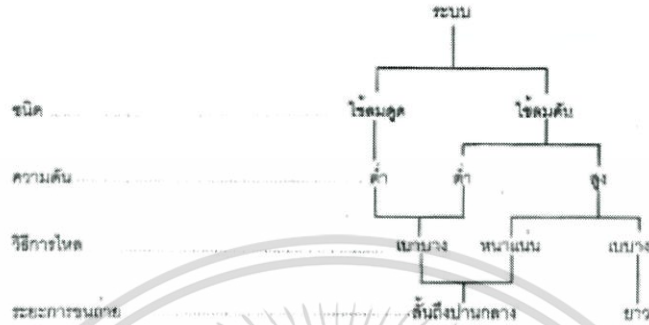
รูปที่ 2.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศต่ำสุดกับความหนาแน่น

อัตราแรงดันของ Fan , Blower หรือ Conveyor ที่จะบ่งบอกคือปริมาตร , ระยะทางและวัสดุที่ใช้ในการขนถ่ายในเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ให้มา ซึ่งสรุปต่าง ๆ อยู่ในรูปที่ 2.40 สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใหญ่กว่า ในความเร็วของอากาศเดียวกับความดันของอากาศที่ลด จะเพิ่มด้วยการเพิ่มความยาวของท่อทางและลดแรงดันที่ถูกใช้ในการขนถ่ายวัสดุตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวท่อการลดลงของความดันในเส้นทางการขนถ่ายจะถูกประมาณจากสัดส่วนของความยาว สำหรับความหนาแน่นของ Phase ที่คงที่ , เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและวัสดุ

ในทำนองเดียวกันความดันที่ลดในเส้นทางการขนถ่าย จะประมาณเป็นสัดส่วนกับ Phase และความหนาแน่นของวัสดุด้วยการ Fix วัสดุ, ความยาวท่อและเส้นผ่านศูนย์กลาง

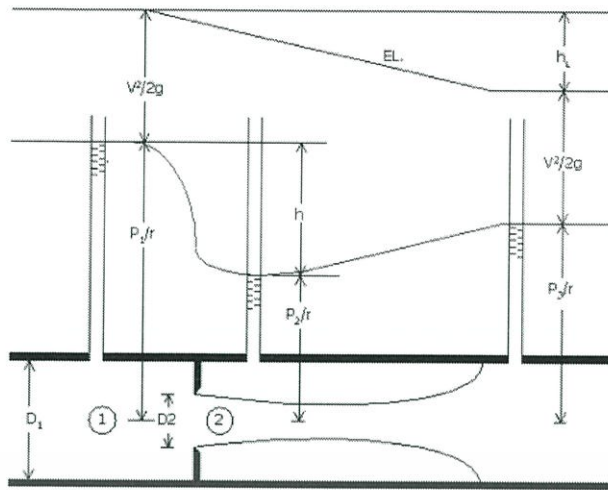


รูปที่ 2.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลม, ความหนาแน่นและระยะการขนถ่าย[13]

2.2.8 ออริฟิส(Orifice Flow Meter)[14]

ออริฟิส(Orifice Flow Meter) คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหล เนื่องจากมีการจัดทำได้ง่ายและมีราคาถูก จึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นแล้วยังมีความเชื่อถือในการวัดอัตราการไหล แผ่นออริฟิสสามารถทำขึ้นจากวัสดุได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากของไหลที่นำไปใช้งาน เช่น 316 Stainless Steel, Monel หรือ Inconel Orifice Plate ลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167

การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส จากการค้นพบว่า เมื่อมีการไหลผ่านส่วนของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ลดลง ทำให้ความดันของไหลในท่อหลังจากผ่านส่วนที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่านั้นจะมีค่าลดลง และความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นแล้วใช้ในการหาอัตราการไหลได้จาก สมการที่มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.41 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส[14]

จากรูปที่ 2.41 สามารถเขียนสมการการไหลจุดที่ 1 และ จุดที่ 2 ได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.16)$$

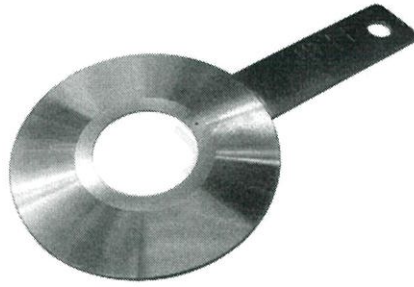
เมื่อ $A_1 v_1 = A_2 v_2$ แทนค่า $v_1 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right) v_2$ ลงในสมการ (16) และเมื่อ $Q_2 = A_2 v_2$ ดังนั้น อัตราการไหลผ่านแผ่นออริฟิส จะได้เป็น

$$Q_2 = A_2 v_2 = \frac{CA_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2\right) \right]} \quad (2.17)$$

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหล
 - A = ขนาดพื้นที่หน้าตัด
 - V = ความเร็วของไหลในท่อ
 - C = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล
 - D = ขนาดท่อ
 - g = แรงโน้มถ่วง
 - P = ความดันที่จุดต่าง
 - Z = ระดับจากจุดอ้างอิง
 - γ = น้ำหนักจำเพาะ

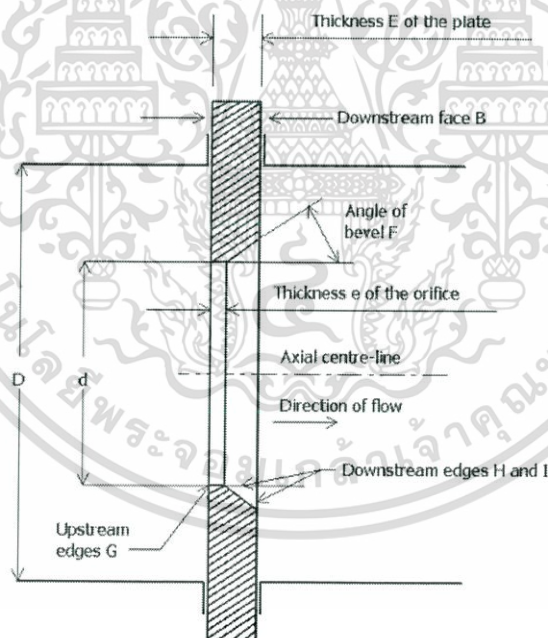
แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 แสดงแผ่นออริฟิส[14]

แผ่นออริฟิสมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูไว้สำหรับให้ของไหลผ่าน ในการติดตั้งจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลน (Orifice Flange) ของท่อในลักษณะตั้งฉากกับกระแสการไหล ข้อดีของการใช้แผ่นออริฟิสในการวัดอัตราการไหลคือ สะดวกในการติดตั้ง, ราคาถูก, มีแบบและวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้ ข้อเสีย คือ จะมีความไวต่อความเสียหายเมื่อเลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสมเนื่องจากแผ่นออริฟิสเป็นแผ่นโลหะที่ต้องสัมผัสกับกระแสการไหลอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้อาจโค้งงอหรือสึกหรอได้ง่าย และต้องการระยะท่อที่เป็นทางตรง (Straight Run) มากกว่าแบบอื่น



รูปที่ 2.43 แสดงแผ่นออริฟิสมาตรฐาน[14]

ตามมาตรฐาน ISO 5167 ค่าความหนา e ของแผ่นออริฟิสจะอยู่ระหว่าง $0.005D$ ถึง $0.02D$ และ ค่าความหนา E จะอยู่ระหว่างขนาดความหนา e ถึง $0.05D$ โดยทั่วไปแล้ว ขนาดรูปที่แผ่นออริฟิสจะแสดงในรูปอัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางรูกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อหรือ $= d/D$ ซึ่งปกติจะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 และ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การปรับปรุงระบบป้อนและบดเชื้อเพลิง

การปรับปรุงระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่หัวเผา โดยอาศัยหลักการออกแบบทางวิศวกรรมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งนำไปสู่การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสมกับระบบและทำให้ระบบทั้งหมดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.1 การเลือกใช้เชื้อเพลิง

เหตุผลที่เลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellets) คือ เชื้อเพลิงชนิดนี้ เป็นเชื้อเพลิงที่ทำมาจาก ขี้เลื่อย หรือ เศษวัสดุจากการแปรรูปไม้ มีความหนาแน่นสูง และมีความชื้นต่ำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็ก ทำให้การป้อนเชื้อเพลิงในระบบมีประสิทธิภาพ กล่าวคือสามารถกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้อง และรูปทรงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดยังช่วยให้สะดวกต่อการขนถ่ายและจัดเก็บ

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เลือกใช้ คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากไม้ยางพารา ซึ่งมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากยางพาราของบริษัท K.M.INTERWOOD

Properties	As received basis	Moisture free basis
Moisture, %	1.8	-
Volatile matter, %	76.1	77.5
Fixed carbon, %	19.8	20.1
Ash, %	2.3	2.4
Heating value, kcal/kg	4,220	4,300

จากตารางที่ 3.1 เป็นผลการทดสอบจากบริษัท K.M.INTERWOOD ซึ่งเชื้อเพลิงนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบบดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด [3]

จากการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงทำให้ต้องมีการเพิ่มกระบวนการบดเข้าไปในระบบ ซึ่งการเลือกชนิดและประเภทของเครื่องบดนั้น ต้องคำนึงถึงประเภทของวัสดุที่จะนำมาบด ความละเอียดของผงวัสดุที่ต้องการ และกำลังในการบดให้สอดคล้องกับความต้องการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา ซึ่งประเภทของเครื่องบดของแห่งที่สนใจมีดังนี้

1. Hammer mill คือเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง มีลักษณะหัวบดเป็นหัวค้อนติดอยู่บนเพลลาอาศัยหลักการเหวี่ยงกระแทก ทำให้วัสดุแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และมีตะแกรงเจาะรูเป็นตัวกรองให้เครื่องบด บดวัสดุให้ได้ขนาดตามต้องการจึงปล่อยออก

2. Ball mill คือ เครื่องบดแบบลูกบอลประกอบด้วยภาชนะปิดหลังหม้อบด หมุนอย่างช้าๆในแนวนอนภายในมีลูกบดที่เป็นบอลโลหะ อาศัยหลักการกระแทกของลูกบอลกับวัสดุที่ต้องการบด

3. Pin mill หลักการทำงานคือ วัสดุถูกใส่ลงมาจากบนสุดลงมาด้านล่าง โดยวัสดุถูกบดด้วยแรงเนื่องจากหัวบดและจะหมุนอยู่ภายในจนเป็นผงละเอียดแล้วจึงร่วงลงด้านล่างผ่านตะแกรง ส่วนที่ไม่สามารถผ่านตะแกรงลงไปได้ต้องถูกหมุนต่อไปจนกว่าจะกลายเป็นผงและผ่านตะแกรงได้

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องบด

สิ่งที่พิจารณา	ชนิดเครื่องบด		
	Hammer mill	Ball mill	Pin mill
ขนาดเครื่อง	ปานกลาง	ใหญ่	ปานกลาง
ความละเอียดของการบด	หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด

จากการเปรียบเทียบดังกล่าว จึงเลือกใช้เครื่องบดประเภท Pin mill จาก Catalog ของเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY โดยเลือกให้มีอัตราการบดในช่วง 0.0157-0.063 kg/s นั่นคือ 56.52-226.8 kg/hr

เครื่องบดที่ใช้เป็นของยี่ห้อ BONNY รุ่น YPT-302(F/S) โดยมีกำลังการผลิต 150-300 kg/hr ใช้มอเตอร์ 5 hp : 3.7 kW มีความเร็วรอบของเครื่อง 4000 RPM ซึ่งจะให้มีอัตราการบดในช่วงที่ต้องการ คือ 0.942-3.780 kg/min ดังแสดงในตารางที่ 3.3

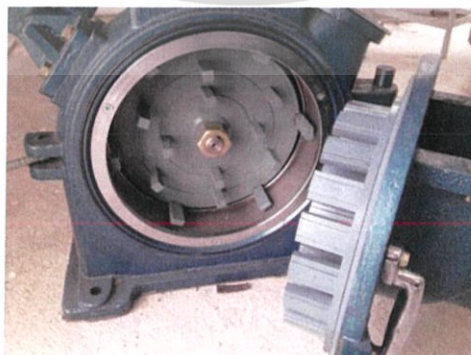
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY

รุ่น MODEL	กำลังการผลิต* CAPACITY (kg/hr)	มอเตอร์ POWER (hp : kW)	รอบเครื่อง* SPEED (RPM)	สัดส่วน* DIMENSION (W x D x H : cm)
YPS-102 (F/S)	10-50	2 : 1.5	6000	95 x 55 x 130
YPT-202 (F/S)	50-150	3 : 2.2	5000	115 x 65 x 140
YPT-302 (F/S)	150-300	5 : 3.7	4000	115 x 65 x 160
YPK-401 (F/S)	300-500	10 : 7.5	3500	75 x 70 x 115 (ไม่รวมแท่น)
YPK-501 (F/S)	500-1000	20 : 15	3500	90 x 80 x 135 (ไม่รวมแท่น)

* ตัวเลขโดยประมาณ (Approximately)



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY รุ่น YPT-302(F/S)



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะภายในเครื่องบด ยี่ห้อ BONNY รุ่น YPT-302(F/S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะเชื้อเพลิงก่อนกระบวนการบด



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการบด

3.3 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา

จากเดิมระบบการป้อนเชื้อเพลิงจะเป็นระบบการป้อนแบบ Hopper-Screw โดยเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบจะมีขนาดอนุภาคเล็กหรือเป็นเชื้อเพลิงฝุ่น จึงได้มีการนำการขนถ่ายวัสดุด้วยลมเข้ามาร่วมด้วย ซึ่งการเป็นการขนถ่ายด้วยลมที่ใช้ระบบความดันในการขนถ่ายและใช้ตัวจ่ายลมแบบคอคอด ลมที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงนี้จัดเป็นอากาศส่วนที่ 1 ที่ไหลเข้าสู่เตาเผา และได้มีการออกแบบตัวจ่ายลมที่มีการออกแบบโดยใช้หลักการของมุกองวัสดุ คือเมื่อวัสดุถูกเทออกจากภาชนะจะเกิดการเลื่อนไหลออกมาตามธรรมชาติ เมื่อนำมาต่อเข้ากับระบบที่มีการเปลี่ยนชนิดของวัสดุ ทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่เหมาะสมกับระบบ เพราะอุปกรณ์ตัวนี้เป็นสาเหตุทำให้ระบบเผาไหม้เกิดความไม่ต่อเนื่อง นั่นคือเกิดการอัดแน่นของเชื้อเพลิงที่คอคอด ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปร่างกระทันหันในบริเวณที่มีการรวมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และท่อที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุนั้นมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้เชื้อเพลิงนั้นไหลเข้าสู่หัวเผาไม่สัมพันธ์กับเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาจากถังพักเชื้อเพลิง

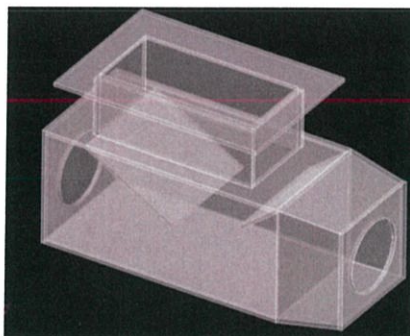


รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการดูดตันเชื้อเพลิงบริเวณปล่องสำหรับการขนถ่ายเชื้อเพลิงเดิม

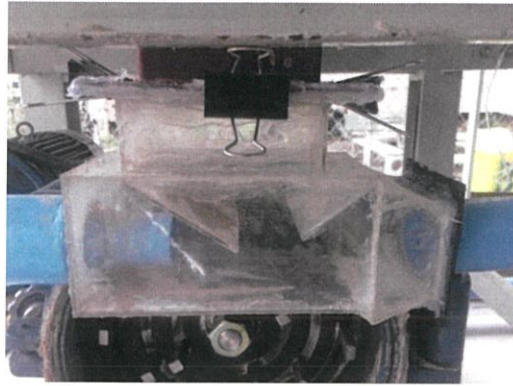
ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบปล่องที่เป็นจุดที่มีการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง เพื่อส่งเข้าไปสู่หัวเผาในอัตราการไหลที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง โดยได้มีการขยายขนาดของปล่องให้เชื้อเพลิงลงมาได้อย่างเต็มที่มากขึ้น และลดปัญหาการอัดแน่นของเชื้อเพลิงในช่วงก่อนจะผสมกับอากาศได้ ในส่วนที่เป็นการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงใช้หลักการของเวนจูรีในการออกแบบ คือ การสร้างให้มีคอขวดในท่อเพื่อเพิ่มอัตราเร่งของการไหล ทำให้เกิดแรงดูดบริเวณคอขวด ดูดเชื้อเพลิงไปผสมกับอากาศที่ไหลผ่านคอขวด และฉีดเข้าไปในท่อส่งของระบบเผาไหม้ โดยข้อจำกัดของหลักการนี้ คือ การสูญเสียแรงดันระหว่างทางเข้าและทางออกค่อนข้างสูง ทำให้ต้องมีแรงดันด้านทางเข้าสูง จึงจะมีแรงดันเหลือพอที่จะอัดฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในระบบได้ มีช่วงของการทำงานแคบ ควบคุมให้ทำงานคงที่ได้ยาก และจากหลักการดังกล่าวจะนำไปสู่อุปกรณ์ที่เรียกว่า Conveying Eductor โดยมีการทำงานดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานของ Conveying Eductor [13]



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 3.8** แสดงแบบจำลองปล่องสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงของระบบปั๊มไฮดรอลิกด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงชิ้นงานจริงของปล่องสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงของระบบ

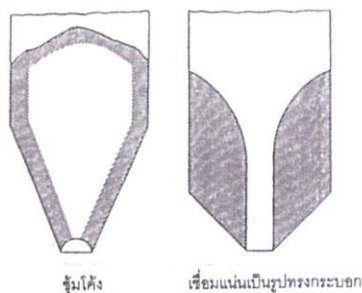
3.4 ระบบกักเก็บเชื้อเพลิง

ระบบเดิมจะใช้ถังพักเชื้อเพลิง ในการกักเก็บเชื้อเพลิงและส่งถ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบลำเลียง ซึ่งได้ออกแบบให้ถังพักเชื้อเพลิง มีความจุ 0.733 m^3 จากการทดสอบระบบจริง

จากการทดสอบระบบจริง เชื้อเพลิงที่ไหลออกมาจากถังพักเชื้อเพลิงมีการติดขัดทำให้เกิดการไหลที่ไม่ต่อเนื่อง คือมีลักษณะการไหลแบบเฉาะๆที่มีการติดขัดของเชื้อเพลิงแบบเชื่อมแน่นเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งในกรณีวัสดุขนาดใหญ่คือ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จะเกิดการติดขัดกันเอง ส่วนวัสดุมีลักษณะเป็นผงละเอียด คือ เชื้อเพลิงฝุ่น จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันของวัสดุ จากปัญหาดังกล่าว จึงต้องออกแบบให้มีการใช้อุปกรณ์ช่วยจ่ายเชื้อเพลิงออกจากถังพักเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสม



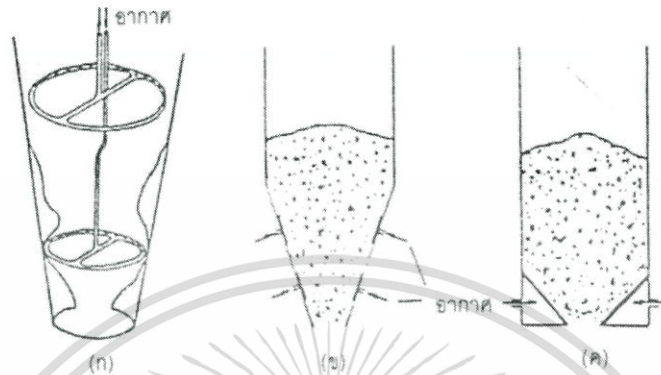
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการไหลของวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ □



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.11 แสดงการเกิดคูล์ดิงและเชื่อมแน่นเป็นรูปทรงกระบอก □ ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 อุปกรณ์ช่วยจ่ายวัสดุที่น่าสนใจ มีดังนี้

3.4.1.1 วิธีการที่ทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล (Fluidization methods) คือ จะให้ลมที่มีความดันต่ำเข้าไปผสมกับวัสดุเพื่อที่จะให้วัสดุสามารถไหลได้คล้ายของเหลวและมีการควบคุมลมให้อยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ



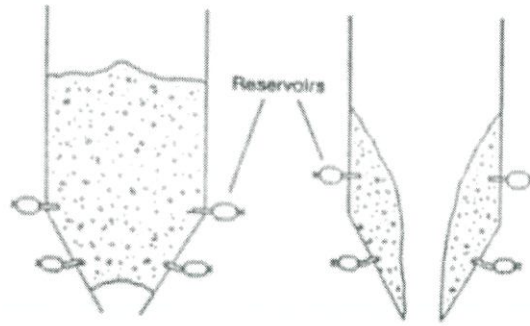
รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยไหลแบบทำให้วัสดุอยู่ในสภาพของไหล(fluidize) [9]

3.4.1.2 วิธีการใช้ลมผลึกวัสดุ (Air assisted methods) คือการใช้ลมความดันสูงในปริมาณน้อยและทำให้เกิดการขยายตัวแบบทันทีทันใด เพื่อผลึกวัสดุให้ไหลออกจากภาชนะบรรจุ โดยการขยายตัวแบบทันทีทันใดของลมจะมีความดันประมาณ 7 เท่าของบรรยากาศจากถังเก็บลม ผ่านวาล์วที่มีคุณสมบัติให้ลมผ่านได้ในปริมาณมากๆ ไปทำลายส่วนที่ติดขัดของวัสดุที่ช่องทางปล่อยวัสดุ



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของอุปกรณ์แบบใช้ลมผลึกวัสดุ [9]

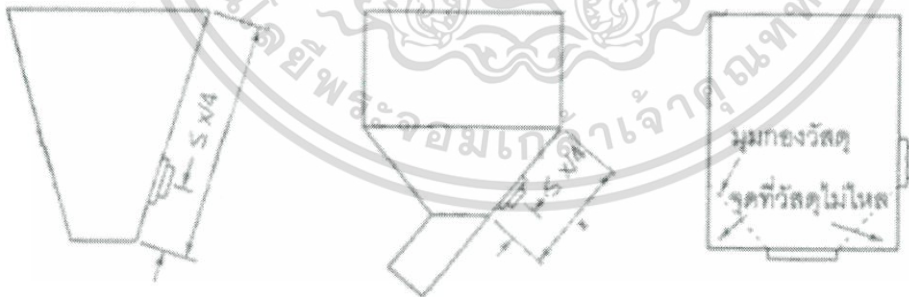
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดแบบซุ่มโคงและแบบเชื่อมแน่นเป็นทอรูปทรงกระบอกตามลำดับ [9]

3.4.1.3 วิธีการสั่นสะเทือน (Vibration methods) คือ การลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ เพื่อให้วัสดุแยกตัวออกจากกันและไหลได้ โดยการใช้ด้วยการเคาะที่ผนังของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถเคาะได้เหมือนกับการใช้ค้อน (knocker) ตัวอุปกรณ์อาจใช้ไฟฟ้าหรือลมเป็นตัวต้นกำลังก็ได้ โดยการทำงานจะไม่ทำให้ผนังของถังเก็บวัสดุเกิดความเสียหายหรือเสียรูปทรงไปเหมือนการใช้ค้อนทุบ หลักการพื้นฐานที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมีอยู่สี่ชนิดดังนี้คือ

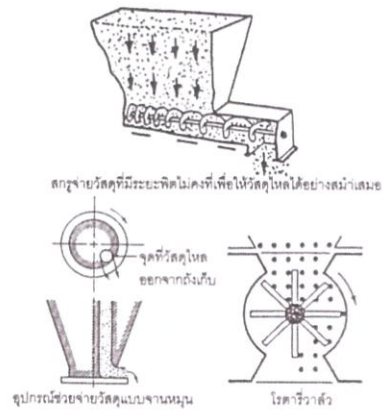
1. แม่เหล็กไฟฟ้า
2. ลูกสูบลม
3. ลูกเขี่ยขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
4. ลูกบอลที่ทำงานด้วยลม



รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การสั่นสะเทือน [9]

3.4.1.4 วิธีการใช้อุปกรณ์ทางกล (Mechanical method) คือ อุปกรณ์ทางกลที่ใช้จ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปจะใช้จานหมุน, สกรู, แผ่นกวาด และ โรตารีวาล์ว เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับภาชนะบรรจุขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงอุปกรณ์ทางกลสำหรับจ่ายวัสดุออกจากภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ [9]

3.4.1.5 วิธีการเคลือบผิวส่วนปล่อยวัสดุ (Hopper liners methods) คือ การใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเคลือบผิวด้านในของภาชนะบรรจุก็เพื่อทำให้วัสดุสามารถไหลได้ง่าย และเป็นเทคนิคที่ยอมรับว่าถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์

โดยวิธีช่วยจ่ายวัสดุที่สนใจคือ การใช้วิธีการสั่นสะเทือน (vibration methods) โดยใช้อุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลม ซึ่งมีข้อดีดังนี้

- มีประสิทธิภาพสูง แรงที่ได้เทียบกับพลังงานที่ใส่เข้าไป
- โครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมทำให้ทำความสะอาดง่ายและทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี
- ใช้ลมน้อย แรงสั่นและความถี่สามารถปรับได้จากแรงลมที่ป้อนเข้าไป
- โครงสร้างแข็งแรง การบำรุงรักษาต่ำ
- มีรุ่นให้เลือกใช้มาก
- ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ รองรับ ATEX STANDARD คือใช้ได้กับพื้นที่ที่ง่ายต่อการระเบิด
- มีหลายรุ่นซึ่งเหมาะกับการใช้งานในแต่ละอย่าง

3.4.2 ประเภทของอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมที่สนใจ [11]

3.4.2.1 ชนิดโรตารี (ROTARY TYPE) จะเป็นการสั่นที่เกิดจากการหมุนที่มีแรงหนีศูนย์กลางไม่สมดุลย์

1. Ball Vibrator

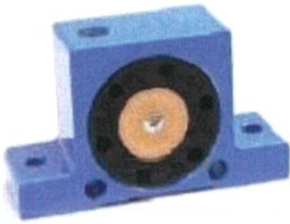


รูปที่ 3.17 แสดง Ball Vibrator [11]

- Body Material: Extruded Aluminium Alloy
- Frequency: 35000 cycles/Minute At 6Bar
- Low Noise: 60~75 dBA
- Centrifugal Force: 360N At 6Bar
- Inlet And Exhausting Port Size: NPT, 1/4
- Product Name: Pneumatic Ball Vibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Roller Vibrator



รูปที่ 3.18 แสดง Roller Vibrator [11]

Body Material: Extruded Aluminium Alloy

Frequency: 100~36100 cycles/Minute

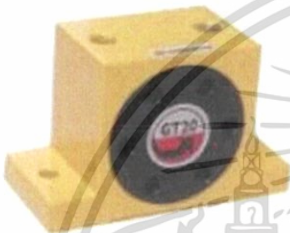
Low Noise: 75~100 dBA

Centrifugal Force: 810~8950 N

Inlet And Exhausting Port Size: NPT, 1/8"~3/8"G

Product Name: Pneumatic Roller Vibrator

3. Turbine Vibrator



รูปที่ 3.19 แสดง Turbine Vibrator [11]

Body Material: Stainless Steel

, Extruded Aluminium Alloy

Frequency: 33000cycles/Minute At 6 Bar

Low Noise: 60~75 dBA

Centrifugal Force: 3730N At 6Bar

Inlet And Exhausting Port Size: NPT, 1/4

Product Name: Pneumatic Vibrator

3.4.2.2 ชนิดแนวเส้นตรง (LINEAR TYPE) เป็นการสั่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่

กลับไปกลับมาของลูกสูบ

1. Piston Vibrator



รูปที่ 3.20 แสดง Piston Vibrator [11]

Working Pressure: 0.2~0.6MPa

Air Inlet Port Size: G1/8"

Product Name: Pneumatic Piston Vibrator

Vibrating Force: 30~1080N

Air Exhausting Port Size: G1/8"~G1/4"

Body Material: Extruded Aluminium Alloy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 ชนิดเคาะหรือทุบ (DIRECT IMPACT TYPE) เป็นการสั่นที่เกิดจากแรงกระทำที่เกิดจากลูกสูบกระแทกโดยตรงที่ผนัง

1. Impact Hammer



รูปที่ 3.21 แสดง Impact Hammer [11]

Air Exhausting Port Size: PT1/8"~G3/8"

Impact Force: 1.2~48.5 KG'M/S

Working Pressure: 0.3~0.7MPa

Product Name: Air Hammer Vibrator

Air Inlet Port Size: Air Inlet Port Size

Impact Power: 5.5~220.2N/M

Body Material: Extruded Aluminium Alloy

ทางกลุ่มมีความสนใจอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมชนิดเคาะหรือทุบโดยตรง นั่นคือ Impact Hammer และได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับถังพักเชื้อเพลิงดังรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 แสดงอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมที่เลือกใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.23 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงสั่นสะเทือนด้วยลมใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

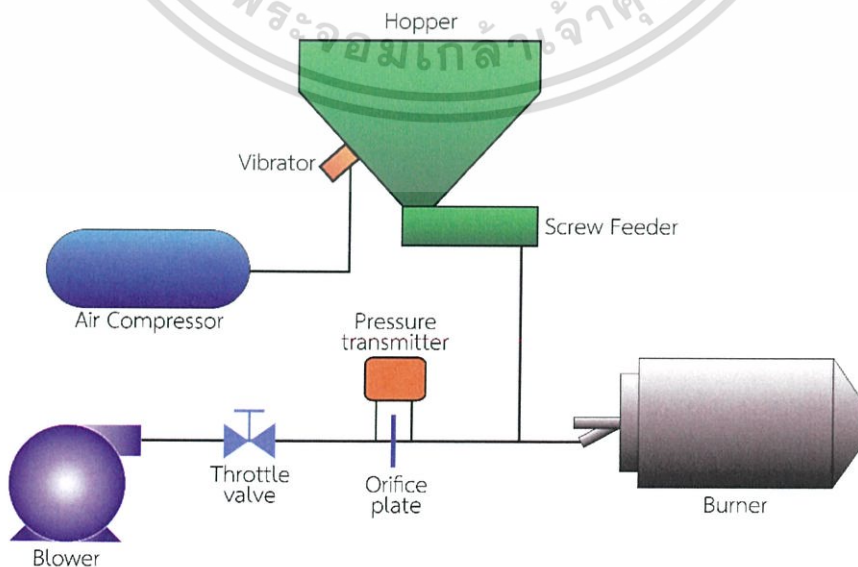
1. เพื่อทดสอบหาขีดจำกัดของเครื่องบด
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการขนถ่ายกับความเร็วรอบใบเกลียว
3. ทดสอบการทำงาน เพื่อหาตัวแปรควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้
4. เพื่อทดสอบการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา

4.2 แนวทางการทดลอง

1. ทดลองหาขนาดเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน
2. ทดลองหาอัตราการขนถ่าย ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เปรียบเทียบกับโครงการเดิม

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. นาฬิกาจับเวลา
3. Tachometer
4. Blower
5. Inverter
6. Orifice plate
7. ชุดทดลอง Sieve analysis (เครื่องเขย่าคัดขนาด, งานและถาดรอง, ตะแกรงเบอร์ #40, #50, #60, #100, #140, #200)



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.4.1 การทดลองหาความสามารถของเครื่องบด

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในHopper
2. เปิด switch motor
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์สกรูลำเลียง โดยปรับกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1 Hz ซึ่งจะใช้ Inverter ในการปรับ
4. นำภาชนะรองรับเชื้อเพลิงที่ออกจากเครื่องบดที่ใช้ตะแกรงที่มีรูขนาด 0.5 mm โดยจับเวลา 1 นาที
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าลงในตาราง
6. ทดลองตามข้อที่ 3-5 โดยเปลี่ยนตะแกรงเป็นขนาดรู 1mm และ 1.5mm ตามลำดับ

4.4.2 การทดลองหาขนาดของเชื้อเพลิง

1. ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดแล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์ บันทึกค่า
2. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกัน โดยให้ตะแกรงขนาดใหญ่อยู่ชั้นบน เรียงลำดับ ดังนี้ #40,#50,#60,#100,#140,#200
3. นำเชื้อเพลิงตัวอย่างใส่ไปในตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าใช้เวลาในการเขย่าประมาณ 10 นาที แล้วนำตะแกรงแต่ละอันไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่บนตะแกรง จดบันทึกค่า
4. ทำความสะอาดตะแกรงให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการทดลองครั้งต่อไป
5. ทำซ้ำข้อ 1-4

4.4.3 การทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง

1. เปิด switch motor
2. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์สกรูลำเลียง โดยปรับกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1 Hz ซึ่งจะใช้ Inverter ในการปรับ
3. ใช้ Tachometer วัดความเร็วรอบที่แกนเพลลา ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย บันทึกค่าลงในตาราง
4. ทดลองตามข้อที่ 3-5 โดยทำจนถึง 50 Hz

4.4.4 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดผ่านสกรูลำเลียง

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในHopper
2. เปิด switch motor
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์สกรูลำเลียง โดยปรับกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1 Hz ซึ่งจะใช้ Inverter ในการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำภาชนะรองรับเชื้อเพลิงโดยจับเวลา 1 นาที
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าลงในตาราง
6. ทดลองตามข้อที่ 3-5 โดยทำงานถึง 5 Hz

4.4.5 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่นผ่านสกรูลำเลียง

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในHopper
2. เปิด switch motor
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์สกรูลำเลียง โดยปรับกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1 Hz ซึ่งจะใช้

Inverter ในการปรับ

4. นำภาชนะรองรับเชื้อเพลิงโดยจับเวลา 1 นาที
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าลงในตาราง
6. ทดลองตามข้อที่ 3-5 โดยทำงานถึง 5 Hz

ในตาราง



บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองระบบบดและป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา รวมถึงระบบอากาศส่วนที่ 1 ของระบบการเผาไหม้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบบดเชื้อเพลิง

การทดลองระบบบดเชื้อเพลิง ได้แก่ การทดสอบความสามารถของเครื่องบด และการวิเคราะห์ขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านเครื่องบดที่ใช้ตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

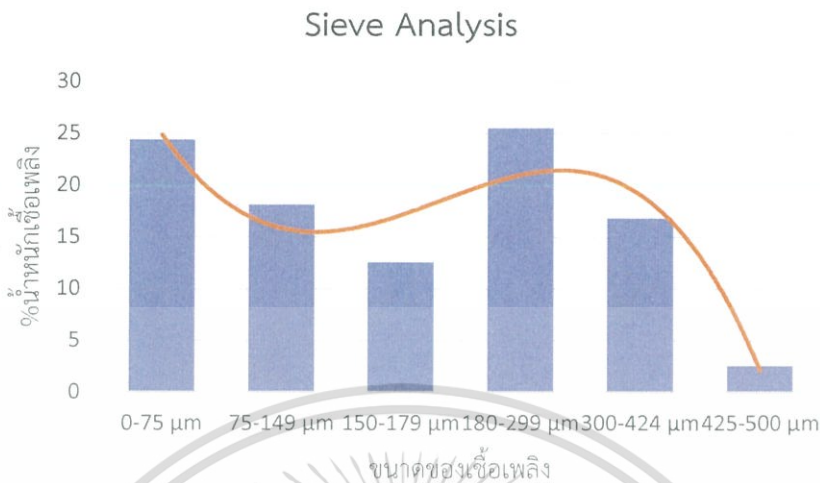
5.1.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องบด

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบกำลังการผลิตจริงกับข้อมูลจากผู้ผลิต

รุ่น MODEL	มอเตอร์ POWER (hp : kW)	รอบเครื่อง* SPEED (RPM)	กำลังการผลิต CAPACITY (kg/hr)			
			จากการทำงานจริง ตามขนาดตะแกรง			
			จากผู้ผลิต	0.5 mm	1 mm	1.5 mm
YPT-302 (F/S)	5 : 3.7	4000	150-300	21.417	40.360	93.966

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องบดแบบ Pin mill มีความเร็วรอบของจานหมุนประมาณ 4000 รอบต่อนาที ใช้มอเตอร์ 5 hp โดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm, 1 mm และ 1.5 mm พบว่าเมื่อตะแกรงมีขนาดรูที่ใหญ่ขึ้น เครื่องบดจะมีอัตราการบดที่มากขึ้น แต่เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากผู้ผลิต จะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตจริงของเครื่องบดนั้นน้อยกว่ามาก สาเหตุเนื่องจากอัตราการบดที่ทางผู้ผลิตรับรองนั้นวัดจากการบดด้วยขนาดตะแกรงที่ใหญ่กว่ามาก หรือเนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้ในการบดนั้นต่างกัน

5.1.2 ผลการทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด



รูปที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดของเชื้อเพลิงด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

จากการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงที่บดผ่านตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm ซึ่งเชื้อเพลิงที่ผ่านตะแกรงนั้นจะต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.5 mm เมื่อนำไปทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่แท้จริงผ่านวิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) พบว่าเชื้อเพลิงจะมีขนาด 0.180-0.299 mm คิดเป็น 25% และขนาดเล็กกว่า 0.075 mm คิดเป็น 24% แสดงว่าเชื้อเพลิงที่ได้มีความละเอียดกว่าขนาดที่ต้องการคือขนาด 0.5 mm ซึ่งจะส่งผลดีต่อระบบการเผาไหม้ นั่นคือ ความละเอียดของเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้พื้นที่ผิวในการเผาไหม้มีมากขึ้นเทียบกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่กว่าในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้ระบบเผาไหม้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จากข้อมูลส่วนนี้จะถูกนำไปเป็นตัวแปรควบคุมในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงฝุ่นในอนาคต

5.1.3 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องบด

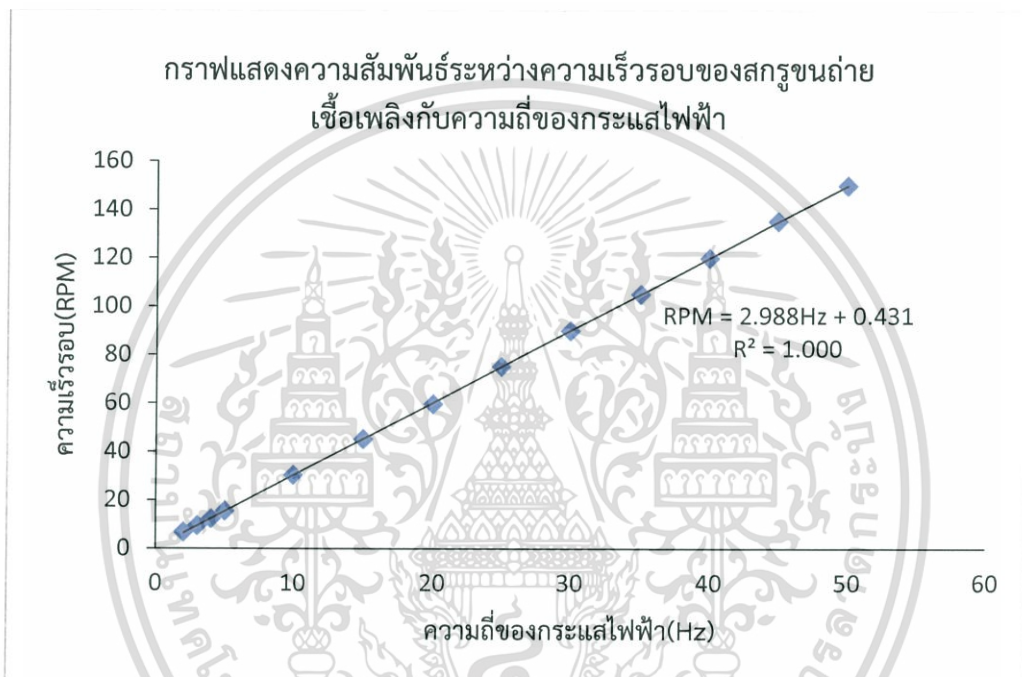
จากความละเอียดของเชื้อเพลิงที่ระบบเผาต้องการนั้นคือ การบดผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 0.5 mm ซึ่งเชื้อเพลิงจะค้างอยู่ในเครื่องบดเป็นเวลานาน ในขณะที่การป้อนเชื้อเพลิงแบบเม็ดลงมาสู่เครื่องบดอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการอัดแน่นของเชื้อเพลิงภายในเครื่องบด งานหมุนไม่สามารถทำงานได้เป็นผลทำให้เครื่องบดนั้นหยุดการทำงาน นั่นคือ การทำงานที่เกินขีดจำกัดของเครื่องบด โดยระยะเวลาก่อนที่เครื่องบดนั้นจะทำงานเกินขีดจำกัดนั้นน้อยกว่าระยะเวลา 30 นาทีที่ต้องการให้ระบบทำงานต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบทั้งหมดทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ต้องการจึงได้มีการแยกเครื่องบดออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองระบบป้อนเชื้อเพลิง

การทดลองระบบป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา เป็นการทดลองเป็นหาตัวแปรควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยการทดลองของระบบนี้ จะเป็นการทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียงซึ่งจะเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านสกรูลำเลียง

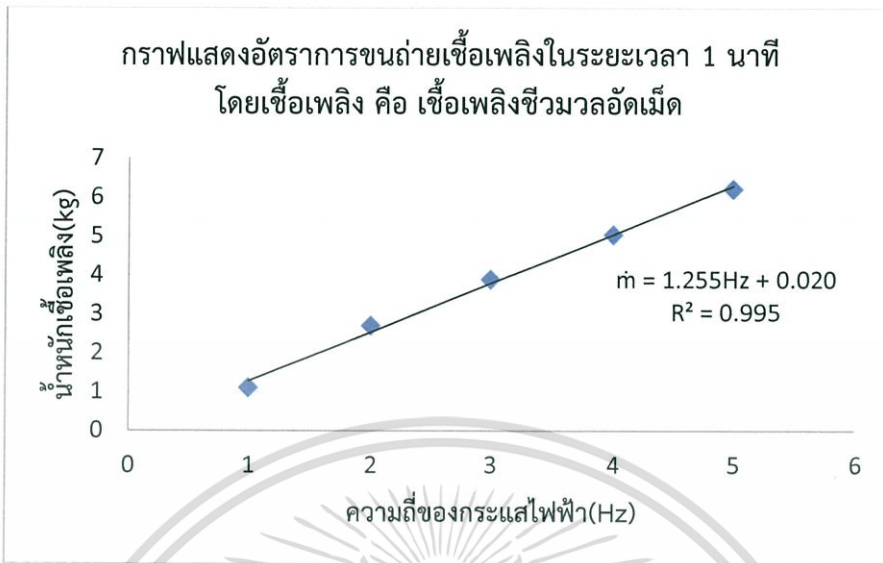
5.2.1 ผลการทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง



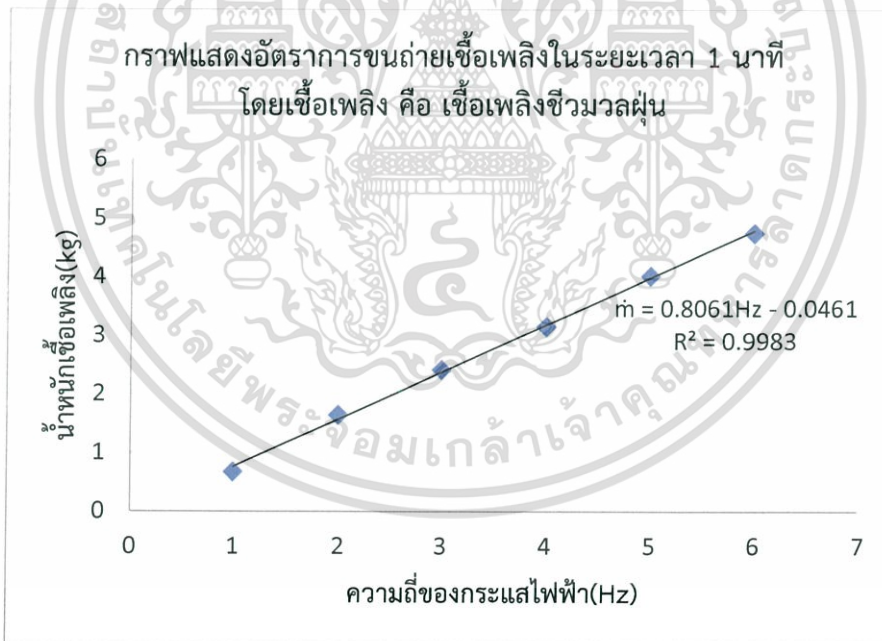
รูปที่ 5.2 แสดงการทำงานของสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ จากการใช้ inverter ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ 1- 50 Hz โดยไม่มีการใส่เชื้อเพลิงในระบบ

จากรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้ากับความเร็วรอบของสกรูลำเลียง พบว่า เมื่อปรับ Inverter ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของสกรูลำเลียงมากขึ้น ความเร็วรอบของสกรูลำเลียงจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมการเชิงเส้น $RPM = 2.988Hz + 0.431$ โดย RPM คือ ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง (RPM) และ Hz คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ปรับจาก Inverter (Hz)

5.2.2 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านสกรูลำเลียง



รูปที่ 5.3 แสดงอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดในระยะเวลา 1 นาที โดยปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ 1-5 Hz



รูปที่ 5.4 แสดงอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงฝุ่นในระยะเวลา 1 นาที โดยปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ 1-5 Hz

จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ควบคุมสกรูลำเลียงมากขึ้น จะทำให้มีอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองที่ได้

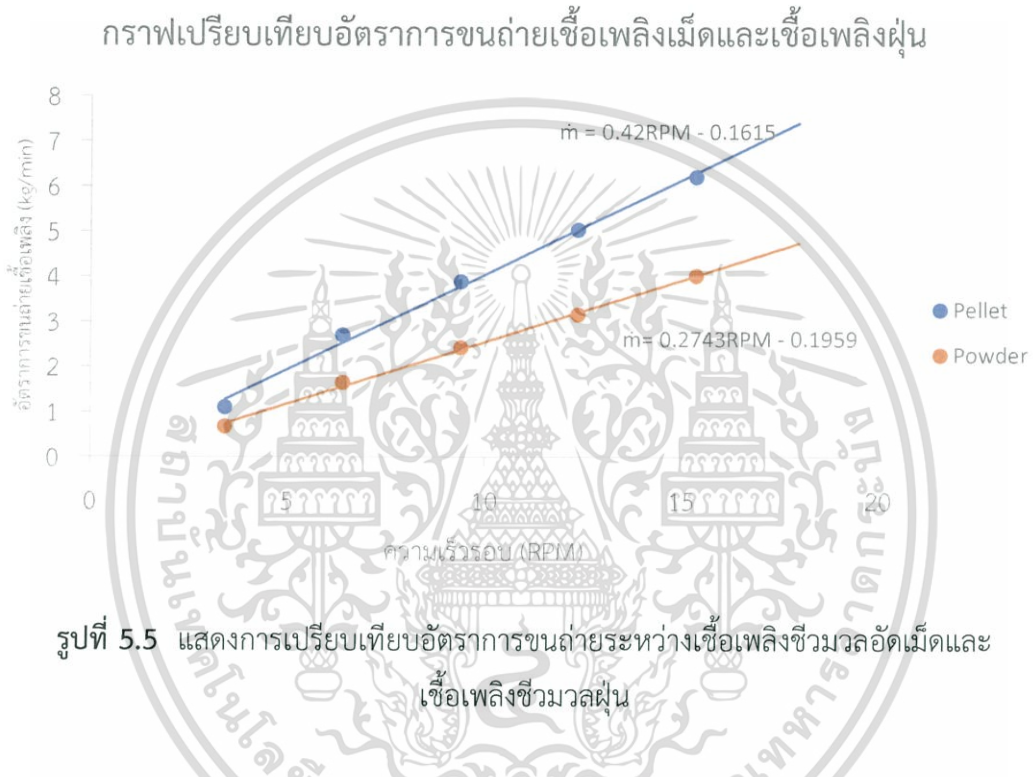
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้ากับอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงเป็นสมการเชิงเส้นดังนี้

$$\text{กรณีเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด} \quad \dot{m} = 1.255\text{Hz} + 0.020 \quad (5.1)$$

$$\text{กรณีเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น} \quad \dot{m} = 0.8061\text{Hz} - 0.0461 \quad (5.2)$$

โดยที่ \dot{m} คือ อัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิง (kg/min) และ Hz คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของสกรูลำเลียง (Hz)



จากรูปที่ 5.5 ได้แสดงการเปรียบเทียบการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิดที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน จะเห็นได้ว่า เมื่อปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ควบคุมสกรูลำเลียงเท่ากัน อัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงเม็ดจะสูงกว่าอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงฝุ่น เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูลำเลียง ซึ่งจะออกแบบสกรูลำเลียงให้มีอัตราการขนถ่ายเป็นไปตามสมการ(5.3)

$$\dot{m} = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4} \quad (5.3)$$

จากสมการ (5.3) เมื่อใช้สกรูลำเลียงเดียวกัน ค่าที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) และค่าแฟกเตอร์ความเต็มราง (k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าแฟกเตอร์ความเต็มรัง(k) ซึ่งค่า k จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการขนถ่าย โดยจะขึ้นกับวัสดุที่ใช้ขนถ่ายด้วยเช่นกัน ยิ่งค่า k มากจะทำให้วัสดุไหลได้ดี มีผลทำให้อัตราการขนถ่ายสูงขึ้นด้วย ส่วนความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (ρ) ทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากัน คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเม็ด เท่ากับ 650 kg/m^3 และ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงฝุ่น เท่ากับ 396 kg/m^3 ซึ่งความหนาแน่นของวัสดุเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด เมื่อนำค่าความหนาแน่นไปคำนวณคิตาค่า k ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจากสมการ (5.4) และแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 5.2

$$k = \frac{4\dot{m}}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) p N} \quad (5.4)$$

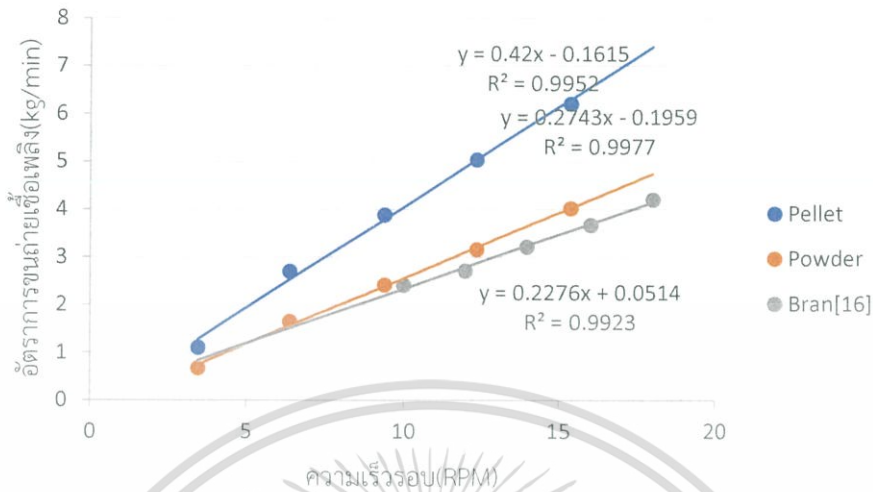
ตารางที่ 5.2 ค่าแฟกเตอร์ความเต็มรังที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลเม็ดและเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น

ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)	ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง (RPM)	เชื้อเพลิงชีวมวลเม็ด (Pellet)		เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น (Powder)	
		อัตราการขนถ่าย (kg/min)	แฟกเตอร์ความเต็มรัง (k)	อัตราการขนถ่าย (kg/min)	แฟกเตอร์ความเต็มรัง (k)
1	3.420	1.100	0.713	0.673	0.715
2	6.410	2.697	0.932	1.646	0.933
3	9.400	3.885	0.915	2.418	0.935
4	12.390	5.033	0.899	3.154	0.925
5	15.380	6.208	0.894	4.017	0.950
		เฉลี่ย	0.871		0.892

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ค่า k เฉลี่ยของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.9 ซึ่งแสดงว่า เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดมีการไหลได้ดีและเต็มรัง และจากระบบเดิมที่ใช้ร่าหยาบเป็นเชื้อเพลิงนั้น มีค่า k เท่ากับ 0.946 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 0.9 เช่นกัน ดังนั้นค่า k ของสกรูลำเลียงของระบบนี้ คือ 0.9 เหตุที่ค่า k นั้นใกล้เคียง 0.9 เพราะสกรูลำเลียงของระบบนั้นสั้นจึงทำให้มีการขนถ่ายได้ไม่เต็มใบเกลียวนั้นน้อยมากหรือแทบจะไม่มีการสูญเสียระหว่างการขนถ่ายเลย ทำให้เชื้อเพลิงนั้นไหลได้อย่างเต็มที่

เมื่อนำอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ใช้งานผ่านสกรูลำเลียงเดียวกันมาแสดงความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของสกรูลำเลียง จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.6 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเปรียบเทียบอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ
กับความเร็รรอบ



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขนถ่ายของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ใช้งาน
ผ่านสกรูลำเลียงเดียวกัน

จากรูปที่ 5.6 จะพบว่า อัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลเม็ดจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น และรำหยาบ ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นดังแสดงใน ตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดของเชื้อเพลิง	ความหนาแน่น (kg/m ³)
เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด	650
เชื้อเพลิงชีวมวลบดละเอียด(ฝุ่น)	392
รำหยาบ	320

จะเห็นได้ว่า ยิ่งค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมาก จะส่งผลให้อัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงมากขึ้นด้วย ดังนั้นความหนาแน่นของเชื้อเพลิงจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการขนถ่ายเชื้อเพลิงผ่านสกรูลำเลียงของระบบนี้ ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของสกรูลำเลียง และการตักข้างของเชื้อเพลิงระหว่างใบเกลียวกับตัวรางก็มีผลต่อการทดลองด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 วิเคราะห์การทำงานของสกรูลำเลียง

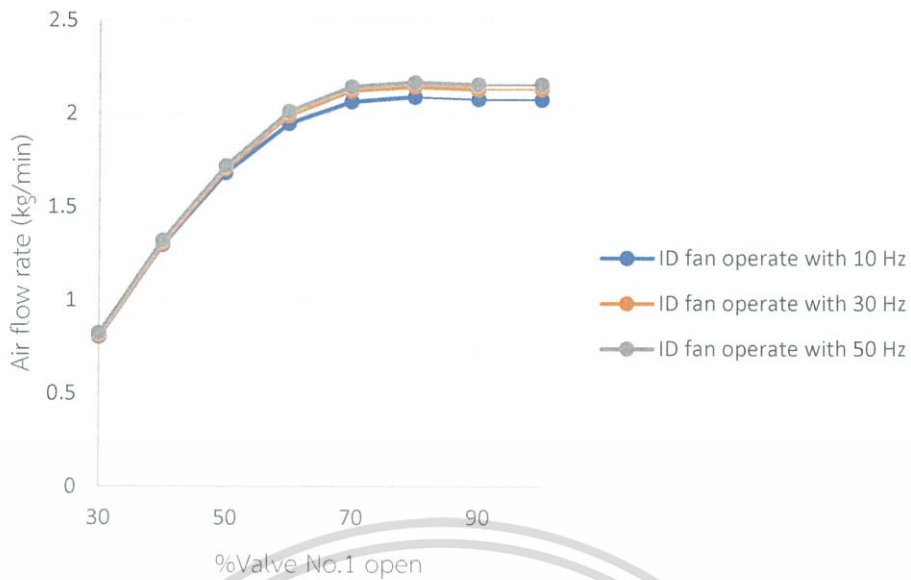
การทำงานของสกรูลำเลียงในระบบขึ้นอยู่กับ การปรับกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์และชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำงาน โดยความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมากจะทำให้มีอัตราการขนถ่ายที่มากขึ้นด้วย ซึ่งในระบบการเผาไหม้นั้นต้องการเชื้อเพลิงชนิดฝุ่น จะเป็นไปตามความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น $m = 0.8061\text{Hz} - 0.0461$ โดยความถี่ของกระแสไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับความเร็วรอบของสกรูลำเลียงแบบสมการเชิงเส้นเช่นกัน คือ $\text{RPM} = 2.988\text{Hz} + 0.431$ ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะใช้ในการปรับกระแสไฟฟ้าควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิงให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งระบบการเผาไหม้ต้องการให้มีการป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่หัวเผาในอัตรา 3.780-0.942 kg/min ได้อย่างต่อเนื่อง โดยจะขึ้นกับอัตราการผลิตพลังงานความร้อนที่ต้องการ ซึ่งการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผาจะต้องมีอากาศส่วนที่ 1 ของระบบทั้งหมดเป็นส่วนช่วยในการส่งเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา

5.3 วิเคราะห์ระบบอากาศส่วนที่1 ร่วมกับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา

ระบบอากาศส่วนที่ 1 เป็นส่วนช่วยในการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา จึงจะต้องมีการปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมกับพลังงานความร้อนที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ปริมาณที่อากาศส่วนที่1และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้

Thermal Throughput (MW)	Fuel mass flow rate		Screw feeder (Hz)	Air mass flow rate (kg/s)	Primary air flow (kg/min)
	kg/s	kg/min			
1.00	0.0633	3.8006	4.7725	0.4458	2.6748
0.75	0.0475	2.8504	3.5936	0.3344	2.0061
0.70	0.0443	2.6604	3.3578	0.3121	1.8724
0.60	0.0380	2.2804	2.8863	0.2675	1.6049
0.50	0.0317	1.9003	2.4148	0.2229	1.3374
0.40	0.0253	1.5202	1.9432	0.1783	1.0699
0.30	0.0190	1.1402	1.4717	0.1337	0.8024
0.20	0.0127	0.7601	1.0001	0.0892	0.5349
0.10	0.0063	0.3801	0.5286	0.0446	0.2674



รูปที่ 5.7 แสดงปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการเผาไหม้

จากตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่ 1 เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่ต้องการ โดยอากาศส่วนที่ 1 จะเป็นส่วนช่วยในการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผา ซึ่งจะคิดเป็น 10% ของอากาศทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้ ตัวอย่างเช่น ระบบต้องการผลิตพลังงานความร้อน 0.75 MW จากตารางที่ 5.4 จะต้องป้อนเชื้อเพลิงในอัตรา 2.805 kg/min โดยปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าให้อยู่ที่ 3.5936 Hz และใช้อากาศส่วนที่ 1 ในอัตรา 2.0061 kg/min ซึ่งจะทำให้การเปิดวาล์วที่ 1 และพัดลมดูดอากาศร่วมกันในเงื่อนไขที่เหมาะสม

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง เราจะพบว่าผลที่ได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สามารถบดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้ได้ขนาดที่เหมาะสมแก่การเผาไหม้ โดยใช้ตะแกรงของเครื่องบดขนาด 0.5mm และสามารถทำการป้อนเชื้อเพลิงที่ถูกบดแล้วเข้าสู่หัวเผาได้ตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่กำหนดไว้ที่ 0.942-3.780 kg/min อย่างน้อยเป็นเวลา 30 นาที

สำหรับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผานั้น มีการพิจารณาตัวแปรต่างๆ อันประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของระบบอากาศส่วนที่1 ของระบบเผาไหม้, ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนสู่มอเตอร์ของสกรูลำเลียงและความเร็วรอบของพัดลมดูดไอเสีย เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จะสามารถสรุปได้ว่า อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแต่ละรูปแบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความหนาแน่นมากที่สุด ตามด้วยเชื้อเพลิงฝุ่น และรำหยาบ ตามลำดับ

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในระหว่างการทำทดลอง จะพบว่าในปล่องขนถ่ายเชื้อเพลิงจะมีเชื้อเพลิงตกค้างตามมุมของปล่อง เนื่องจากมีลักษณะเป็นสีเหลี่ยม ดังนั้นจึงควรปรับปรุงรูปแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเพื่อลดการตกค้างของเชื้อเพลิง

ในด้านของเครื่องบด เนื่องจากเครื่องบดที่เลือกใช้ ไม่สามารถบดได้ตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ต้องการ จึงควรมีการเพิ่มเครื่องบดแบบหยาบเข้าไปอีกหนึ่งชั้นก่อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดเดิม อาจทำให้สามารถรวมระบบบดเชื้อเพลิงและระบบลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าเป็นระบบเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์

บรรณานุกรม

- [1] A. Joppich, H. Salman .1998. Wood powder feeding difficulties and solutions. Science Direct, 1999(16), 191-198.
- [2] Jianjun Dai, John R. Grace.2007. A model for biomass screw feeding. Science Direct, 2008(186), 40-55.
- [3] Jianjun Dai, John R. Grace.2008. Biomass screw feeding with tapered and extended sections. Science Direct, 2008(186), 56-64.
- [4] Jianjun Dai, John R. Grace.2010. Biomass granular screw feeding: An experimental investigation. Science Direct, 2011(35), 942-955.
- [5] เวียง อากรชี, วิบูลย์ เทเพนทร์, ชัยวัฒน์ เผ่าสันตต์พาณิชย์.2551. ออกแบบพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียน. รายงานวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว, 2551, หน้า 64-96.
- [6] บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ วิชั่น จำกัด (2013). พลังงานชีวมวล ., URL: <http://www.energyvision.co.th/14424507/พลังงานชีวมวล> , access on 13/10/2014.
- [7] Sahacogen (Chonburi) Public Co.,Ltd. (2013). Wood pellets คือ ?, URL: www.sahacogen.com/energy/product4/content-20, access on 13/10/2014.
- [8] J. Bridgwater and A.M. Scott. *Flow of Solids in Bunkers*. in Handbook of Fluids in Motion, N.P. Cheremisinoff and R. Gupta eds., Butterworth, Ann Arbor, 1983, chapter 31, page 807-846.
- [9] 34 เรื่องน่ารู้ การขนถ่ายวัสดุด้วยลม, สายพานลำเลียง ระบบขนถ่ายวัสดุทั่วไป, ขนถ่ายวัสดุ 2. 2546. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- [10] มโน สุวรรณคำ (2551). วิศวกรรมการแปรรูปการผลิตผลเกษตร1, คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, (ออนไลน์), แหล่งที่มา <http://cw.rmuti.ac.th/source/วิศวกรรมการแปรรูปการผลิตผลการเกษตร%201/unit000.htm>., เข้าดูเมื่อวันที่ 12/10/2557.
- [11] OLI and WAMGROUP (2007). Flow Aids Division., URL: <http://www.olivibra.com/en/oli-corporate/products/flow-aids-division-page>, access on 10/04/2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนานพนธ์ (2010). Sieve analysis., URL: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1303/sieve-analysis>, access on 13/05/2015.
- [13] พรชัย จงจิตร์ไพศาล. การขนถ่ายวัสดุด้วยลมเบื้องต้น. ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม : Pneumatic Conveying System, 2005.
- [14] ไทยแลนด์อินดัสตรีต่อทคอม. (2013). การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส., URL: <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19114§ion=9>, access on 20/02/2015.
- [15] K- ENGINEERS. (2013). Orifice Plate., URL: <http://kengineers.tradeindia.com/orifice-plate--1847906.html>, access on 21/02/2015.
- [16] จารุพงษ์ แดงชนิษฐ์, ภูริณัฐ ศิริบุญ, ศุภาพิชญ์ รัตนพลที่.2556. ระบบป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นเข้าสู่หัวเผาไหม้ชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [17] นิรุตต์ ร่วมกระโทก, บุญธรรม บัวลา และนายพิชิต เป็เลียนสี. 2545. เครื่องย่อยเศษฟองน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] รัตนพล แดงไสว, สามารถ จรรย์คุณ และอรุณ ชิวคำ. 2544. เครื่องป้อนแกลบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [19] พรรณพิลาส ประเคนรี และสรุศักดิ์ โคลงฉันท. 2545. เครื่องป้อนอาหารปลาอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองระบบป้อนและบัดเชื้อเพลิง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด

ขนาดตะแกรง(mm)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
425-500 μm	2.00539	3.13874	2.5721
300-424 μm	15.6241	18.0328	16.8284
180-299 μm	25.8306	25.2199	25.5253
150-179 μm	12.4015	12.7149	12.5582
75-149 μm	18.9764	17.2731	18.1247
0-75 μm	25.1621	23.6206	24.3913

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง

ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)	ความเร็วรอบ (RPM)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2	6.8	6.8	6.7	6.7667
3	9.4	9.5	9.4	9.4333
4	12.2	12.3	12.3	12.2667
5	15.5	15.5	15.4	15.4667
10	30.4	30.4	30.3	30.3667
15	45.3	45.2	45.2	45.2333
20	60	59.8	59.1	59.6333
25	75	75.1	75.1	75.0667
30	90.1	90	90	90.0333
35	105.1	105.1	104.9	105.0333
40	120	119.7	120	119.9
45	135.2	135	135.3	135.1667
50	150	149.9	149.9	149.9333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดผ่านสกรูลำเลียง

ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	1.079	1.093	1.129	1.1003
2	2.701	2.672	2.719	2.6973
3	3.854	3.935	3.865	3.8847
4	4.973	5.038	5.087	5.0327
5	6.149	6.264	6.21	6.2077

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นผ่านสกรูลำเลียง

ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0.664	0.667	0.687	0.6727
2	1.659	1.634	1.644	1.6457
3	2.446	2.381	2.426	2.4177
4	3.156	3.182	3.123	3.1537
5	3.884	4.142	4.025	4.017
6	4.526	4.916	4.795	4.7457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองหาอัตราการขนถ่ายแกลบผ่านสกรูลำเลียง

ความเร็วรอบ (rpm)	เวลา (min)	น้ำหนักแกลบ (kg)				อัตราการไหล (kg/min)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
10	1	2.434	2.376	2.407	2.406	2.406
	2	4.934	4.885	4.843	4.887	2.444
	3	7.394	6.605	6.444	6.814	2.271
12	1	2.79	2.637	2.69	2.706	2.706
	2	5.603	5.367	5.357	5.442	2.721
	3	8.88	8.82	8.868	8.856	2.952
14	1	3.265	3.149	3.206	3.207	3.207
	2	6.783	6.728	6.705	6.739	3.369
	3	10.289	10.313	10.196	10.266	3.422
16	1	3.836	3.57	3.606	3.671	3.671
	2	7.518	7.288	7.439	7.415	3.708
	3	11.578	11.6	11.553	11.577	3.859
18	1	4.26	4.143	4.194	4.199	4.199
	2	8.591	8.568	8.417	8.525	4.263
	3	13.211	13.008	13.166	13.128	4.376
20	1	5.294	5.301	5.301	5.299	5.299
	2	8.861	8.91	9.073	8.948	4.474
	3	13.211	13.521	13.384	13.372	4.457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองหาอัตราการไหลของอากาศส่วนที่1

ความถี่ของ กระแสไฟฟ้า (Hz)	เปอร์เซ็นต์การ เปิดวาล์ว (%)	DP (mbar)	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)	อัตราการไหล เชิงปริมาตร (m^3/s)
10	30	0.340	0.01343	0.0488
10	40	0.881	0.02162	0.0788
10	50	1.486	0.02807	0.1113
10	60	1.985	0.03245	0.1399
10	70	2.233	0.03441	0.1600
10	80	2.286	0.03482	0.1702
10	90	2.260	0.03462	0.1732
10	100	2.254	0.03458	0.1741
30	30	0.344	0.01351	0.0496
30	40	0.890	0.02173	0.0803
30	50	1.523	0.02842	0.1140
30	60	2.076	0.03319	0.1433
30	70	2.361	0.03539	0.1631
30	80	2.410	0.03576	0.1731
30	90	2.381	0.03554	0.1757
30	100	2.381	0.03553	0.1757
50	30	0.354	0.01371	0.0512
50	40	0.912	0.02199	0.0842
50	50	1.549	0.02867	0.1191
50	60	2.117	0.03351	0.1499
50	70	2.405	0.03571	0.1712
50	80	2.458	0.03611	0.1816
50	90	2.434	0.03593	0.1841
50	100	2.431	0.03591	0.1840

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบป้อนและบดเชื้อเพลิงฝุ่น



รูปที่ ข.1 ชุดการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ ข.2 ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ระบบกักเก็บและบดเชื้อเพลิง

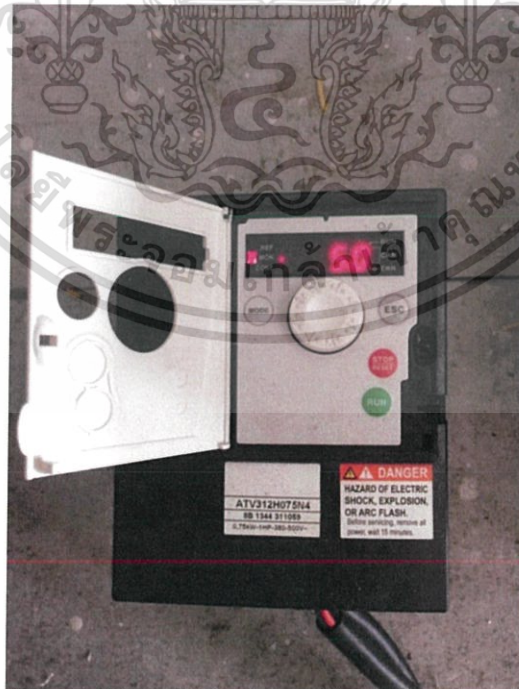


รูปที่ ข.4 เครื่องอัดอากาศให้กับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

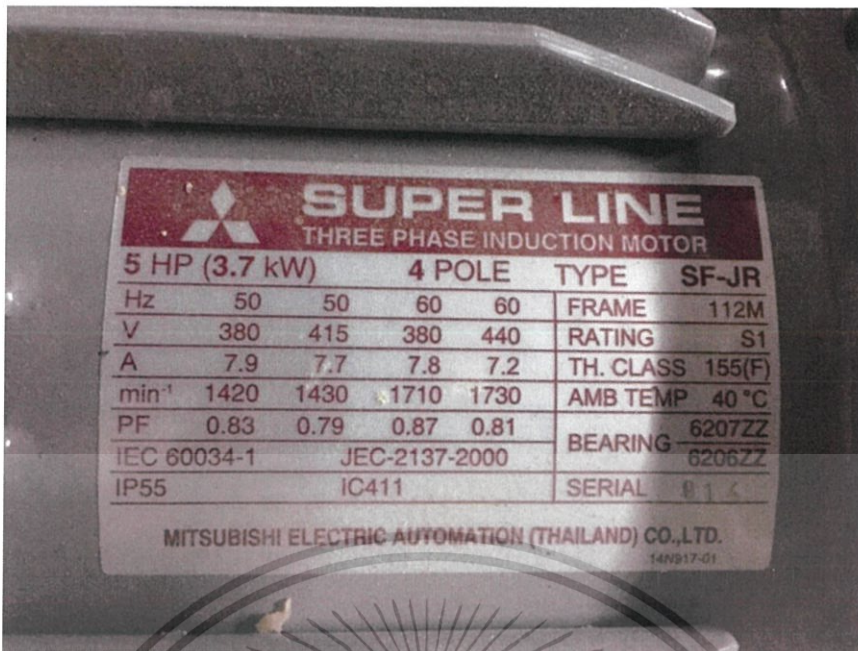


รูปที่ ข.5 วาล์วปรับอัตราการไหลอากาศส่วนที่1



รูปที่ ข.6 inverter ปรับค่าความถี่กระแสไฟฟ้าของระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเครื่องบด



รูปที่ ข.8 ติดตั้งแม่เหล็กแรงสูง เพื่อรองละอองเหล็กที่ผสมอยู่ในเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

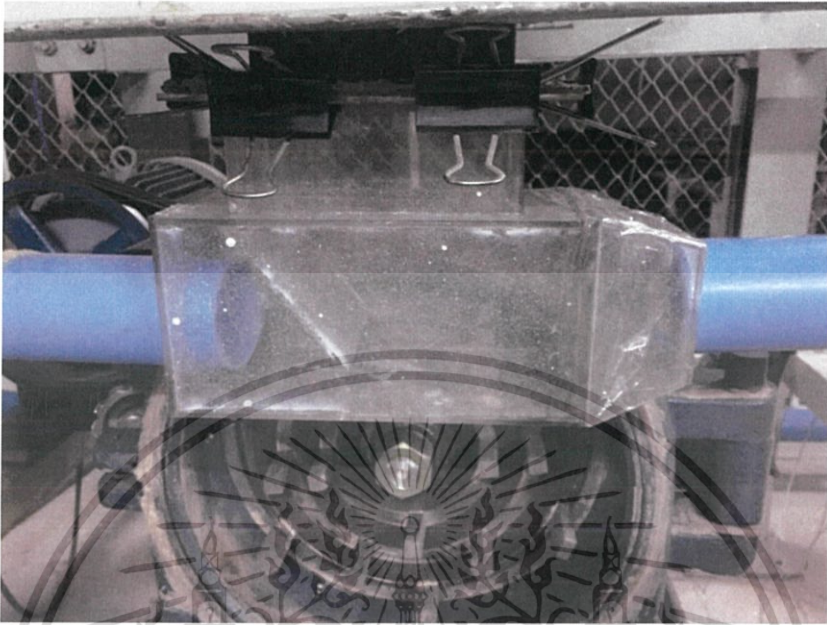


รูปที่ ข.9 การไหลของเชื้อเพลิงหลังติดไวเบรเตอร์

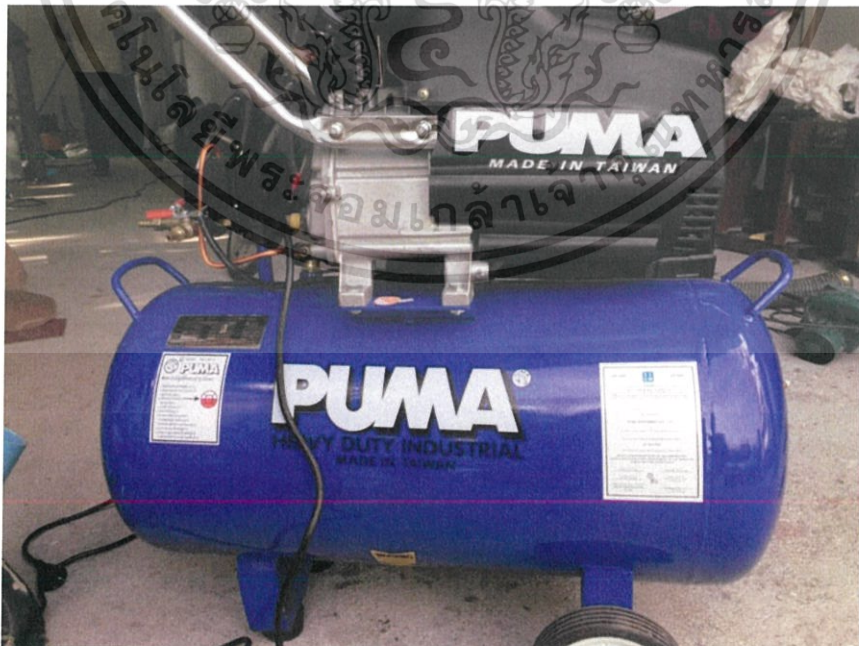


รูปที่ ข.10 สกรูลำเลียงเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 อุปกรณ์สำหรับลบล้างเสียงเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่หัวเผา



รูปที่ ข.12 เครื่องอัดอากาศสำหรับไวเบเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TISTR

Request No. 28/56

ETD.SF. 179-01/56

REPORT ON TESTING AND ANALYSIS

For

K.M. INTERWOOD

Testing / analysis of Biomass Pellet from Sawdust size 8 mm.

Method of testing / analysis ASTM E 870 and D 5865

Condition of testing / analysis : Temperature - °C Relative humidity - %

Result of testing / analysis :

Properties	As received basis	Moisture free basis
Moisture, %	1.8	-
Volatile matter, %	76.1	77.5
Fixed carbon, %	19.8	20.1
Ash, %	2.3	2.4
Heating value, kcal/kg	4,220	4,300

Tested / analysed by

1. Boonnisa
2. Ta Weeping

Approved by

(Mrs. Romani Wangdeetham)

Director

Energy Technology Department

Examined by

(Dr. Wirachai Soontornrangson)

Date January 25, 2013

The above results are valid exclusively for tested / analysed samples as mentioned in this report

Publicity of results on testing / analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thailand Institute of Scientific and Technological Research

35 Moo 3, Technopolis Tambon Khlong 5 Amphoe Khlong Luang Pathum Thani 12120 Thailand

Tel. (66) 0 2577 9000 Fax 0 2577 9009

E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-22